



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

**INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

DOCTORADO EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS Y SALUD HUMANA

TESIS

**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE DOS VARIEDADES DE
FLOR DE PALMA PARA SU APLICACIÓN EN EL DISEÑO DE UN SUPLEMENTO
ALIMENTICIO”**

Para obtener el grado de:
Doctora en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana

PRESENTA:

M. en C. Mariel Guadalupe Valencia Cordova

Directora:
Dra. Araceli Castañeda Ovando

Codirector:
Dr. Javier Añorve Morga

Comité tutorial:
Dra. Minarda de la O Arciniega
Dra. Deyanira Ojeda Ramírez

Mineral de la Reforma, Hgo., México, abril 2026.



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
 Instituto de Ciencias de la Salud
 School of Medical Sciences
 Área Académica de Nutrición

Número de control: ICSa-AAN/114/2026
 Asunto: Autorización impresión de tesis.

MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH
P R E S E N T E

Por medio de la presente se informa que el comité tutorial del trabajo de tesis titulado "Evaluación de las propiedades biológicas de dos variedades de flor de palma para su aplicación en el diseño de un suplemento alimenticio", realizado por la sustentante Mariel Guadalupe Valencia Cordova con número de cuenta 247278, perteneciente al programa de Doctorado en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana (DCASH), una vez que ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 110 del Reglamento de Estudios de Posgrado tiene a bien extender la presente **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN**. Por lo que, la sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Estudios de Posgrado y continuar con lo establecido en el proceso de grado vigente.

ATENTAMENTE
 "Amor, Orden y Progreso"

Profesor(a)		Firma
Dra. Araceli Castañeda Ovando	Directora	
Dr. Javier Añorve Morga	Codirector	
Dra. Minarda De la O Arciniega	Asesora	
Dra. Deyanira Ojeda Ramírez	Asesora	

"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"
 San Agustín Tlaxiaca, Hgo., a 7 de abril de 2026.

M. C. José Antonio Hernández Vera
 Director del Instituto de Ciencias de la Salud
 Dean

Dra. Nelly del Socorro Cruz Cansino
 Jefa del Área Académica de Nutrición
 Chair of Academic Area of Nutrition

Dra. Lydia López Pontigo
 Coordinadora de Posgrado del ICSa
 Director of Graduate Studies of ICSa

Dra. Eva María Santos López
 Coordinadora del Programa DCASH

"Amor, Orden y Progreso"

Circuito ex-Hacienda la Concepción s/n Carretera Pachuca
 Actopan, San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México. C.P.42172
 Teléfono: 52(771)7172000 Ext. 41524 y 41528
 nutricion@uaeh.edu.mx



uaeh.edu.mx

De manera respetuosa y sincera, expreso mi agradecimiento a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo otorgado durante el desarrollo de este proyecto, mediante la beca de manutención con CVU 1077214, la cual representó una valiosa oportunidad para mi crecimiento personal y profesional.

Agradezco de manera especial a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, así como al programa de Doctorado en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana, por brindarme la oportunidad de formar parte de este posgrado, ya que los conocimientos adquiridos durante este proceso han contribuido significativamente a mi formación académica.

Asimismo, agradezco al “Laboratorio de Físicoquímica de Alimentos II”, perteneciente al área de química en alimentos de la UAEH, por el espacio proporcionado, y de manera particular a la Dra. Araceli Castañeda Ovando, cuya guía, apoyo y provisión de insumos fueron fundamentales para la realización de este proyecto. Así como a todos los doctores que formaron parte de mi evaluación, por el tiempo y el respaldo: Dr. Javier Añorve Morga, Dra. Minarda de la O Arciniega y Dra. Deyanira Ojeda Ramírez.

Extiendo también mi agradecimiento al bioterio de la UAEH por las facilidades otorgadas, así como a los modelos biológicos empleados, que permitieron llevar a cabo estudios con relevancia científica.

Finalmente, agradezco de manera especial al Dr. José Pedraza Chaverri por la colaboración brindada, el acceso a sus instalaciones y el apoyo recibido durante las estancias realizadas en el Laboratorio de Bioquímica de Antioxidantes de la UNAM.

La vida

La vida se va de prisa
cuando vives con pasión,
mientras late el corazón
entre problemas y risa,
se deshace cual ceniza
que se escapa entre las manos,
tirarla en momentos vanos
sin aprender sus lecciones,
elimina las opciones
que nos hacen más humanos.

La vida está hecha de errores,
aciertos y decisiones,
sentimientos y pasiones,
alegrías, penas y amores,
siempre entre espinas y flores,
siempre inmersos en matices,
buscamos nuestras raíces,
para encontrarnos por dentro,
perder, ganar, es un cuento,
lo importante es ser felices.

Fragmentos de La vida, Ernesto López Ortega.

*Dedicado a los pilares que han dado sentido y fortaleza a la vida que hoy
construyo: mi hijo, mi esposo, mis padres, mi familia y amigos.*

El agradecimiento es la memoria del corazón

Las palabras, suelen no ser suficientes para expresar los sentimientos que habitan en mí, espero que cuando las lean, puedan ser una extensión de mi en ustedes...

Chris Roy's han pasado 14 años de que estamos juntos en este mundo, se que las cosas no siempre han sido justas para nosotros, pero quiero que sepas que me esfuerzo todos los días para darte lo que mereces, te agradezco ser siempre paciente a que termine de trabajar, tu comprensión cuando estoy cansada, y todo el tiempo que has donado para que yo logre mis metas. Eres mi motor, mi más preciado tesoro, mi más grande orgullo, espero que te sientas orgulloso de lo que he crecido desde que llegaste a mis brazos, te amo siempre.

David Hernández, no hay más que agradecimiento por todo lo que me has dado en este proceso, por ser sostén cuando todo se puso complicado, por ser paciente cuando el tiempo no me era suficiente, por el hogar que has construido para nosotros, por el cuidado y el lugar en que nos has colocado, porque crees incondicionalmente en mí, en mi capacidad y en que siempre tendré éxito, incluso más que lo que yo muchas veces llego a creer de mí. Gracias por escuchar y apoyarme sin importar lo que esté pasando, por ser motivación y mi más grande aliado, te amo siempre.

Vulfrano Valencia y Guadalupe Cordova, si escribiera en este espacio todo lo que han hecho para que hoy llegue a este lugar y a este objetivo seguramente sería más largo que los mismos resultados de los casi cuatro años invertidos en este trabajo, soy lo que soy por todo el esfuerzo que han invertido en mí, soy todas esas horas de trabajo, soy cada peso que han decidido no gastar en ustedes para construirme algo. Gracias infinitas padres, son los cimientos de mi vida entera, los amo siempre.

Mateo, Agustin, Pupita, Lorena, Bibiana, Ivett, Majo, Mafer, Rafis y al resto de mi familia entera, agradezco su amor, la forma en la que me alientan y celebran mis logros, me hacen sentir poderosa, fuerte y acompañada, los amo siempre.

Mariana, gracias por cultivar por todos estos años nuestra amistad, siempre has creído en mí, siempre que hay algo que festejar o algo que llorar estas ahí para mí, te amo siempre.

Betty, gracias por el apoyo, compañía y lealtad, ha sido siempre un placer compartir mi vida contigo.

Fernanda, tu sororidad, honestidad, humor y respaldo son un regalo que esta etapa me dio, gracias por darme una amistad invaluable, **Ibeth**, tu compañía, sinceridad, alegría y confianza son la sorpresa que descubrí en ti, que me hizo más llevadero todo. Ambas, gracias por todos los momentos que me llevo guardados en el corazón, el laboratorio, los aprendizajes, las lágrimas y las risas siempre son mejores a su lado, gracias.



Este trabajo obtuvo el primer lugar en el Premio “Innovar para el futuro” 11ª edición otorgado por la empresa BASF en colaboración con la Universidad de las Américas de Puebla, celebrado el día 14 de noviembre de 2025.

Algunos de los resultados de este trabajo han sido presentados en los siguientes foros científicos:

- 4° Congreso Internacional de Química Sustentabilidad Energética y Ambiental “Dr. Mario Molina Henríquez”. *Composición nutrimental y perfil fitoquímico de dos variedades de flores de palma*. Celebrado del 27 de noviembre al 1 de diciembre de 2023. Cunduacán, Tabasco, México.
- XLV Encuentro Nacional de la AMIDIQ La Inteligencia Artificial en la Ingeniería Química: Pasado, Presente y Futuro. *Extracción acuosa asistida por ultrasonido y microondas de metabolitos presentes en dos variedades de flores de palma*. Celebrado del 7 al 10 de mayo de 2024 en Ixtapa Zihuatanejo, Guerrero, México.
- XLVI Encuentro Nacional de la AMIDIQ, La Ingeniería Química ante los desafíos ambientales y energéticos. *Perfil de aminoácidos y evaluación del puntaje químico en dos variedades de flores comestibles de palma*. Celebrado del 13 al 16 de mayo de 2025 en San José del Cabo, Baja California Sur, México.
- XLVII Encuentro Nacional de la AMIDIQ, La ingeniería química nacional y los retos globales del siglo XXI. *Evaluación de la digestibilidad in vitro de compuestos de interés de dos variedades de flor de palma*. A celebrarse del 12 al 15 de mayo de 2026 en Riviera Maya, Quintana Roo, México.

Algunos resultados han sido publicados en:

- Valencia-Cordova, M. G., Castañeda-Ovando, A., Jaguey-Hernández, Y., Ojeda-Ramírez, D., Castañeda-Ovando, E. P., Cruz-Cansino, N. S., & González-Olivares, L. G. (2025). Phytochemical screening and alterations in nutritional profiles resulting from various cooking processes of two Yucca flower varieties (*Yucca ssp.*). *Journal of Food Measurement & Characterization*. <https://doi.org/10.1007/s11694-025-03834-1>
- Valencia-Cordova, M. G., Jaguey-Hernández, Y., Castañeda-Ovando, A., González-Olivares, L. G., Castañeda-Ovando, E. P., Añorve-Morga, J., & De La O-Arciniega, M. (2024). Lesser-Explored edible flowers as a choice of phytochemical sources for food applications. *International Journal of Food Science*, 2024(1), 9265929. <https://doi.org/10.1155/2024/9265929>
- Valencia-Cordova, M.G., Castañeda-Ovando A., Jaguey-Hernández Y. (2024). Flores comestibles... más allá de la ornamentación. *Redicye Revista-Divulgación de Ciencia y Educación*. 2(3).

El presente trabajo se realizó en los laboratorios de:

- Físicoquímica de Alimentos 2 del Área Académica de Química de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Bioquímica de Antioxidantes, de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bioterio, Laboratorio 1 y 2. Instituto de Ciencias de la Salud de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Índice

Resumen	1
Abstract.....	2
Capítulo 1: Antecedentes generales.....	3
Resumen	4
1.1 Introducción.....	5
1.2 Flores comestibles poco exploradas.....	6
1.3 Usos potenciales de las flores comestibles menos exploradas en la ciencia y tecnología de alimentos	12
1.4 Conclusiones.....	15
Referencias	16
Capítulo 2: Caracterización fisicoquímica e identificación botánica de la flor de palma	24
Resumen	25
2.1 Introducción.....	26
2.2 Metodología	27
2.2.1 Muestras.....	27
2.2.2 Identificación botánica	27
2.2.3 Análisis fitoquímico.....	28
2.2.3.1 Preparación del extracto.....	28
2.2.3.2 Compuestos fenólicos.....	28
2.2.3.3 Fitoesteroles	28
2.2.3.4 Terpenoides	29
2.2.3.5 Triterpenoides.....	29
2.2.3.6 Alcaloides.....	29
2.2.3.7 Glucósidos cardíacos.....	29
2.2.3.8 Quinonas.....	29
2.2.3.9 Determinación de antinutrientes	30
Fitatos	30
Saponinas.....	30

Taninos.....	30
2.2.4 Análisis de metales pesados	30
2.2.4.1 Preparación de la muestra.....	30
2.2.4.2 Análisis por ICP	30
2.2.5 Perfiles de aminoácidos y ácidos grasos.....	31
2.2.5.1 Aminoácidos	31
2.2.5.2 Ácidos grasos	31
2.2.6 Efecto del tratamiento de cocción en el contenido de nutrientes	32
2.2.6.1 Tratamientos de muestra.....	32
2.2.6.2 Análisis proximal.....	32
2.3 Resultados y discusión.....	33
2.3.1 Identificación botánica	33
2.3.2 Evaluación fitoquímica y de antinutrientes	34
2.3.3 Perfil de aminoácidos	37
2.3.4 Perfil de ácidos grasos	39
2.3.5 Metales pesados.....	41
2.3.6 Evaluación de los cambios nutrimentales después de los procesos de cocción ..	42
2.4 Conclusiones.....	48
Referencias	48
Capítulo 3: Optimización de extracciones de metabolitos presentes en flores de palma asistidas por microondas y ultrasonido	55
Resumen	56
3.1 Introducción.....	57
3.2 Metodología	58
3.2.1 Diseño de experimentos para la extracción de metabolitos	58
3.2.1.1 Condiciones generales.....	58
3.2.1.2 Evaluación de los factores de respuesta.....	60
Fenoles totales.....	60
Terpenos	60
Fitoesteroles	61

3.2.1.3	Análisis estadístico.....	62
3.2.1.4	Optimización y experimentos confirmatorios	62
3.2.2	Pruebas de capacidad antioxidante de los extractos optimizados.....	62
3.2.2.1	DPPH	63
3.2.2.2	ORAC	63
3.2.2.3	FRAP	63
3.2.2.4	Radical anión superóxido.....	64
3.2.2.5	Radical hidroxilo	64
3.3	Resultados y discusión.....	65
3.3.1	Optimización de las extracciones de metabolitos	65
3.3.1.1	Extracciones con agua	65
3.3.1.2	Extracciones con etanol.....	70
3.3.1.3	Extracciones con diclorometano	76
3.3.2	Pruebas de capacidad antioxidante.....	81
3.4	Conclusiones.....	84
	Referencias	85
	Capítulo 4: Evaluación de la DL ₅₀ y ensayos <i>in vivo</i> de actividades biológicas de metabolitos presentes en flores de palma	90
	Resumen	91
4.1	Introducción.....	92
4.2	Metodología	93
4.2.1	Evaluación de la DL ₅₀	93
4.2.2	Ensayos <i>in vivo</i> en un modelo de <i>C. elegans</i>	95
4.2.2.1	Cultivo de <i>C. elegans</i>	95
	Mantenimiento de la OP50 en placa	95
	Crecimiento de la OP50 en medio líquido.....	96
	Congelación de la OP50.....	96
	Preparación de medio para el mantenimiento de los <i>C. elegans</i>	97
	Cepa, mantenimiento y sincronización de <i>C. elegans</i>	98
4.2.2.2	Esperanza de vida	99

4.2.2.3	Termotolerancia crónica	99
4.2.2.4	Estrés oxidativo	100
4.3	Resultados y discusión	100
4.3.1	Dosis letal media	100
4.3.2	Esperanza de vida en un modelo de <i>C. elegans</i>	105
4.3.4	Estrés oxidativo y termotolerancia crónica	112
4.4	Conclusiones	115
	Referencias	116
Capítulo 5: Digestibilidad <i>in vitro</i> de compuestos de interés en flores comestibles de palma		120
	Resumen	121
5.1	Introducción	122
5.2	Metodología	123
5.2.1.	Tratamiento de la muestra	124
5.2.2	Determinación de proteína	126
5.2.2.1	Preparación de soluciones	126
5.2.2.2	Cuantificación	126
5.2.3	Cuantificación de fitoquímicos	126
5.2.4	Evaluación de la actividad antioxidante y eliminación de radicales libres	126
5.2.5	Análisis estadístico	127
5.3	Resultados y discusión	127
5.3.1	Digestibilidad <i>in vitro</i> de compuestos de interés	127
5.3.2	Capacidad antioxidante y eliminación de radicales libres	129
	Referencias	131
Capítulo 6: Diseño de un suplemento alimenticio a base de flor de palma		134
	Resumen	135
6.1	Introducción	136
6.2	Metodología	138
6.2.1	Optimización de la formulación de un suplemento alimenticio basado en flor de palma	138

6.2.1.1 Condiciones generales.....	138
6.2.1.2 Diseño de experimentos.....	138
6.2.1.3 Evaluación de los factores de respuesta.....	139
6.2.1.4 Análisis estadístico.....	139
6.2.2 Experimentos confirmatorios	139
6.3 Resultados y discusión	140
6.3.1 Optimización del suplemento alimenticio.....	140
6.3.2 Propuesta de presentación comercial del suplemento alimenticio	146
6.4 Conclusiones.....	147
Referencias	147
Anexos.....	150

Índice de figuras

Figura 1. Dualidad de las flores comestibles menos exploradas como fuentes de compuestos con actividad en el organismo.	7
Figura 2. Flores de palma (A) <i>Yucca filifera</i> y (B) <i>Yucca elephantipes</i>	33
Figura 3. Análisis de componentes principales ilustra la correlación entre los nutrientes y los procesos de cocción a) <i>Y. filifera</i> b) <i>Y. elephantipes</i>	47
Figura 4. Superficies de respuesta y gráficos de contorno para la extracción acuosa de compuestos fenólicos contenidos en <i>Y. filifera</i> (A y B) y <i>Y. elephantipes</i> (C y D).	69
Figura 5. Superficies de respuesta y gráficos de contorno para la extracción etanólica de compuestos terpénicos contenidos en <i>Y. filifera</i> (A y B) y <i>Y. elephantipes</i> (C y D).	74
Figura 6. Superficies de respuesta y gráficos de contorno para la extracción diclorometánica de fitoesteroles en <i>Y. filifera</i> (A y B) y <i>Y. elephantipes</i> (C y D).	79
Figura 7. Efecto de los extractos acuosos de <i>Y. filifera</i> en la esperanza de vida de los <i>C. elegans</i>	106
Figura 8. Efecto de los extractos etanólicos de <i>Y. filifera</i> en la esperanza de vida de los <i>C. elegans</i>	107
Figura 9. Efecto de los extractos acuosos de la <i>Y. elephantipes</i> en la esperanza de vida <i>C. elegans</i>	109
Figura 10. Efectos del extracto etanólico de <i>Y. elephantipes</i> en la esperanza de vida de los <i>C. elegans</i>	110
Figura 11. Mecanismos de los compuestos naturales para aumentar la esperanza de vida en los <i>C. elegans</i>	111
Figura 12. Curva de supervivencia de los nemátodos <i>C. elegans</i> , cepa salvaje N2 (N=120±5 por grupo), bajo estrés oxidativo crónico, tratados con extractos acuosos de <i>Yucca</i> spp.	113
Figura 13. Curva de supervivencia de los nemátodos <i>C. elegans</i> , cepa salvaje N2 (N=120±5 por grupo) bajo estrés térmico crónico, tratados con extractos acuosos de <i>Yucca</i> spp.	115
Figura 14. Fases de la evaluación de la digestibilidad <i>in vitro</i>	124
Figura 15. Gráfica de interacción de factores A y B (cantidad de harina y extracto acuoso) en un suplemento a base de flores de palma.	144

Índice de tablas

Tabla 1. Principales fitoquímicos y bioactividades de flores comestibles menos exploradas.	10
Tabla 2. Diferencias morfológicas entre las especies de flores de palma.	34
Tabla 3. Perfil fitoquímico de flores de palma.	35
Tabla 4. Contenido de aminoácidos en flores comestibles de palma.	38
Tabla 5. Composición nutrimental de flores de palma.	43
Tabla 6. Ácidos grasos en dos variedades de flores comestibles de yuca.	46
Tabla 7. Niveles de los factores de control seleccionados en la optimización de las extracciones acuosas de metabolitos de la flor de palma.	59
Tabla 8. Matriz del diseño de experimentos y resultados de los factores de respuesta para las extracciones con agua.	66
Tabla 9. Resultados paramétricos de la ecuación polinomial de segundo orden del extracto acuoso de <i>Y. filifera</i> y <i>Y. elephantipes</i>	67
Tabla 10. Condiciones óptimas para la extracción acuosa de compuestos fenólicos de <i>Y. filifera</i> y <i>Y. elephantipes</i>	70
Tabla 11. Matriz del diseño de experimentos y resultados de los factores de respuesta para las extracciones con etanol.	71
Tabla 12. Resultados paramétricos de la ecuación polinomial de segundo orden del extracto etanólico de <i>Y. filifera</i> y <i>Y. elephantipes</i>	73
Tabla 13. Resultados paramétricos de la ecuación polinomial de segundo orden para la extracción etanólica de terpenos presentes en <i>Y. filifera</i> y <i>Y. elephantipes</i>	75
Tabla 14. Matriz del diseño de experimentos y resultados de los factores de respuesta para las extracciones con diclorometano.	77
Tabla 15. Resultados paramétricos de la ecuación polinomial de segundo orden del extracto diclorometánico de <i>Y. filifera</i> y <i>Y. elephantipes</i>	78
Tabla 16. Resultados paramétricos de la ecuación polinomial de segundo orden del extracto diclorometánico de <i>Y. filifera</i> y <i>Y. elephantipes</i>	80
Tabla 17. Capacidad de eliminación de radicales libres en los extractos optimizados de flores de palma.	81
Tabla 18. Cantidad de OP50 concentrada en cajas de mantenimiento de <i>C. elegans</i>	96
Tabla 19. Reactivos para preparar 1 L de medio de crecimiento para <i>C. elegans</i> después de la esterilización.	97
Tabla 20. Reactivos para preparar 1 L de agar M9 empleado en la sincronización de <i>C. elegans</i>	98
Tabla 21. Efecto de los extractos de flores de palma sobre el índice órgano-cuerpo (%) en la prueba de dosis letal media en ratones.	102

Tabla 22. Disección postratamiento en un modelo murino tras exposición a extractos de flores de palma en prueba de toxicidad.	104
Tabla 23. Efecto de los extractos de <i>Y. filifera</i> (YFA y YFE) en la vida media de <i>C. elegans</i>	105
Tabla 24. Efecto de los extractos de <i>Y. elephantipes</i> (YEA y YFE) en la vida media de los <i>C. elegans</i>	108
Tabla 25. Efecto de los extractos acuosos de <i>Y. filifera</i> y <i>Y. elephantipes</i> en la termotolerancia crónica y estrés oxidativo de <i>C. elegans</i>	112
Tabla 26. Constituyentes para la preparación de una simulación de fluidos para la evaluación de la digestibilidad <i>in vitro</i>	123
Tabla 27. Digestibilidad <i>in vitro</i> de componentes de interés de las flores de palma.	127
Tabla 28. Actividad antioxidante y eliminación de radicales libres antes y después de la digestión <i>in vitro</i> de las flores de palma.	130
Tabla 29. Factores de control en el diseño de experimentos tipo factorial para la obtención de un suplemento a base de flores de palma.	138
Tabla 30. Matriz de diseño de experimentos de suplemento alimenticio a base de flores de palma.	140
Tabla 31. Resultados paramétricos de la ecuación polinomial del suplemento alimenticio a base de <i>Yucca</i> spp.	141
Tabla 32. Condiciones óptimas para la obtención de un suplemento alimenticio de <i>Y. filifera</i> y <i>Y. elephantipes</i>	145

Lista de acrónimos y abreviaturas

AOAC: Asociación oficial de análisis químicos

AQP: Análisis químico proximal

DL₅₀: Dosis letal cincuenta

DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidrazil

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura

FRAP: Poder antioxidante reductor férrico

His: histidina

IC₅₀: Concentración inhibitoria cincuenta

Ile: isoleucina

Lys: lisina

Met: metionina

mg: miligramos

OMS: Organización Mundial de la Salud

ONU: Organización de las Naciones Unidas

ORAC: Capacidad de absorción de radicales de oxígeno

Phe: fenilalanina

ROS: Especies reactivas de oxígeno

Thr: treonina

Trp: triptófano

Val: valina

Resumen

Las flores comestibles se han utilizado como ingredientes de la dieta humana desde la antigüedad; sin embargo, en la actualidad se consideran alimentos importantes por el aporte de compuestos fitoquímicos que estos brindan y principalmente por los efectos benéficos hacia el consumidor. Las flores de palma destacan entre las flores comestibles, debido a que tienen alta resistencia al estrés hídrico, por lo que su producción no requiere de altos gastos de recursos. Por lo que, el objetivo de este trabajo fue valorizar dos variedades de flor de palma a través del análisis de sus propiedades químicas y biológicas con la finalidad de utilizarlas en el diseño de un suplemento alimenticio. Para lograr el objetivo general, este trabajo se dividió en seis capítulos, en cada uno de ellos se abordaron separadamente los objetivos específicos que se plantearon. En el capítulo uno se presentan los antecedentes generales, en el que se desarrolla una revisión bibliográfica de algunas de las flores comestibles poco comunes, se resaltan los compuestos bioactivos y sus principales aplicaciones en la salud humana. En el capítulo dos, se exhibe la identificación botánica de dos variedades que se emplearon en todos los estudios, además, se exponen la composición nutrimental y los resultados del análisis fitoquímico y se establecen las posibles aplicaciones en el organismo para obtener beneficios. Posteriormente, el capítulo tres se enfoca en la optimización de tres extractos obtenidos con solventes de diferentes polaridades (agua, etanol y diclorometano) y con el uso de tecnologías emergentes como el microondas y el ultrasonido, generando las condiciones óptimas para el proceso, tomando en consideración como factores de respuesta el contenido de compuestos fenólicos totales, fitoesteroles y terpenos. El capítulo cuatro contiene información acerca de la evaluación de la dosis letal media (DL_{50}) y de las actividades biológicas (en ensayos *in vivo* con *Caenorhabditis elegans*) de los tres extractos optimizados, para cada una de las dos variedades de flor de palma. El capítulo cinco trata de la digestibilidad de los compuestos de interés (fenólicos totales, terpenos y proteína) encontrados en las flores de palma de las dos variedades. Finalmente, en el capítulo seis se plantea el diseño de un suplemento alimenticio a base de flores de palma, en la que se utilizó como factor respuesta la digestibilidad *in vitro*.

Abstract

This work is organized into six chapters. Chapter One presents the general background, including a literature review of several less common edible flowers, highlighting their bioactive compounds and some of their applications in human health, as well as the objectives pursued in this research. Beginning with Chapter Two, the objectives for the development of this doctoral project are addressed individually. Chapter Two presents the botanical identification of the two varieties employed throughout the studies, along with their nutritional composition and the results of the phytochemical analysis, establishing their potential applications in the human body to confer health benefits. Subsequently, Chapter Three focuses on the optimization of three extracts obtained using solvents of different polarities (water, ethanol, and dichloromethane), together with emerging technologies such as microwave and ultrasound, in order to determine the optimal conditions for the extraction process. The response factors considered included the content of total phenolic compounds, phytosterols, and terpenes. Chapter Four provides information on the evaluation of the median lethal dose and the biological activities of the three optimized extracts from each of the two palm flower varieties, based on *in vivo* assays. Chapter Five addresses the digestibility of the compounds of interest (total phenolics, terpenes, and protein) identified in the palm flowers of both varieties. Finally, Chapter Six presents the formulation and the delivery vehicle for the dietary supplement developed from palm flowers.

Capítulo 1: Antecedentes generales

Resumen

Las flores se han usado comúnmente en la cocina para añadir color y sabor a los platillos. Además de realzar el atractivo visual de los alimentos, muchas flores comestibles también contienen compuestos bioactivos que promueven la salud. Estos compuestos incluyen agentes antimicrobianos, antihipertensivos, nefroprotectores, antiulcerosos y anticancerígenos. En los últimos cinco años, se han publicado 95 revisiones sobre flores comestibles. De estas, el 43% se ha centrado en la Ciencia y Tecnología de los Alimentos, mientras que el 32% ha analizado sus efectos en la salud humana. La mayoría de estas flores comestibles son de consumo común, pero algunas son menos conocidas debido a su distribución limitada o estacionalidad de floración. Estas flores menos exploradas a menudo contienen compuestos que ofrecen importantes ventajas para la salud. Por lo tanto, en el presente capítulo se muestran las características, la composición fitoquímica y los compuestos bioactivos presentes en flores comestibles menos examinadas, entre las que se incluyen las flores de palma. El objetivo de este capítulo fue generar un análisis de composición fitoquímica y biológica, así como sus posibles aplicaciones con impactos benéficos en la salud humana.

Palabras clave: compuestos bioactivos, flores comestibles, florifagia, beneficios para la salud; menos exploradas.

1.1 Introducción

A lo largo de la historia, las flores se han utilizado con fines decorativos y culinarios debido a sus características únicas. La florifagia, el consumo de flores e inflorescencias, se remonta a civilizaciones antiguas como la romana, que utilizaba violetas, rosas y lavanda en sus preparaciones de salsas. Los nativos americanos consumían regularmente flores de calabaza, mientras que, en la Edad Media, los europeos elaboraban bebidas y salsas con diente de león y los franceses preparaban salsas de caléndula (Rop et al., 2012).

Las flores comestibles han sido empleadas desde la antigüedad para preparar diversos alimentos, sus colores y sabores son características que atraen a los consumidores. Aunado a esto, numerosos estudios han destacado las propiedades nutricionales y biológicas de diferentes tipos de flores comestibles, en los cuales se han enfocado en el estudio de sus compuestos fitoquímicos (Juarez-Trujillo et al., 2018; Kandylis, 2022). Estos compuestos poseen beneficios biológicos, como efectos antimicrobianos, antiinflamatorios, antidiabéticos, hepatoprotectores, antihipertensivos, nefroprotectores y antiulcerogénicos (Kumari et al., 2021) e incluyen sustancias fenólicas y lipídicas, entre otros metabolitos.

Desde esta perspectiva, las flores comestibles se han convertido en un ingrediente importante en la industria alimentaria (Pensamiento-Niño et al., 2024). De hecho, las flores comestibles que contienen fitoquímicos de interés biológico tienen el potencial de ser utilizadas en el diseño y desarrollo de alimentos funcionales o suplementos alimenticios (Kandylis et al., 2022).

A nivel mundial, existe una gran cantidad de flores comestibles ampliamente conocidas y que son objeto de varios estudios, entre las que se incluyen *Gardenia jasminoides*, *Viola × wittrockiana*, *Hibiscus sabdariffa*, *Rosa* spp., *Dahlia* spp., *Geranium* spp., *Lonicera* spp., *Nasturtium* spp. y *Magnolia* spp. (Fernandes et al., 2018). Hay una variedad de flores comestibles que vale la pena explorar, incluida la peonía (*Paeonia officinalis* L.), frangipani (*Plumeria alba*), nomeolvides (*Myosotis scorpioides* L.), rosa alpina (*Rosa pendulina*), rosa silvestre (*Rosa canina*), algunas especies de hibisco (*H. deflersii*, *H. micranthus* y *H. calyphyllus*), lila común (*Syringa vulgaris*), geranio de bosque (*Geranium sylvaticum*), camelia

(*Camellia japonica*), caléndula azteca (*Tagetes erecta*), flor de kiri (*Paulownia Fortunei*), girasol (*Heliathus annuus*), flor de yuca (*Yucca* spp.), malvarrosa (*Alcea rosea*), o aciano (*Centaurea cyanus*).

Estas flores poseen importantes propiedades biológicas que aún no se han explorado por completo. Algunas se han utilizado para extraer y aislar compuestos bioactivos que se han probado para tratar ciertas enfermedades. Por lo tanto, en este capítulo se presenta una revisión de la composición fitoquímica y los beneficios biológicos de estas flores comestibles, que han sido menos estudiadas, pero que pueden tener un impacto positivo en la salud humana.

1.2 Flores comestibles poco exploradas

Recientemente, ha habido un creciente interés en las flores comestibles como una opción alimentaria sostenible y funcional. Esto se debe a su actividad antioxidante y a su capacidad para añadir color, aroma y sabor a diversos platillos (Kandylis, 2022; Pires et al., 2019).

Normalmente, las flores comestibles se pueden consumir en su totalidad; sin embargo, en algunos casos, solo sus pétalos o capullos son comestibles (Mulík & Ozuna, 2020). Se ha estudiado exhaustivamente una amplia gama de flores, incluyendo algunas populares como el hibisco, que se consumen a nivel mundial. No obstante, existe una selección limitada de flores que se utilizan habitualmente en la cocina local o regional o en la medicina tradicional y se están realizando investigaciones para descubrir sus posibles aplicaciones.

Las flores comestibles no solo son una fuente de nutrientes esenciales, sino que también contienen compuestos bioactivos que pueden interactuar con los tejidos vivos, lo que produce numerosos efectos positivos (De la Rosa et al., 2018). En la Figura 1, se representa la dualidad de las flores comestibles menos exploradas. Estas flores no solo son valiosas desde el punto de vista nutricional, sino que también constituyen una fuente importante de compuestos bioactivos.

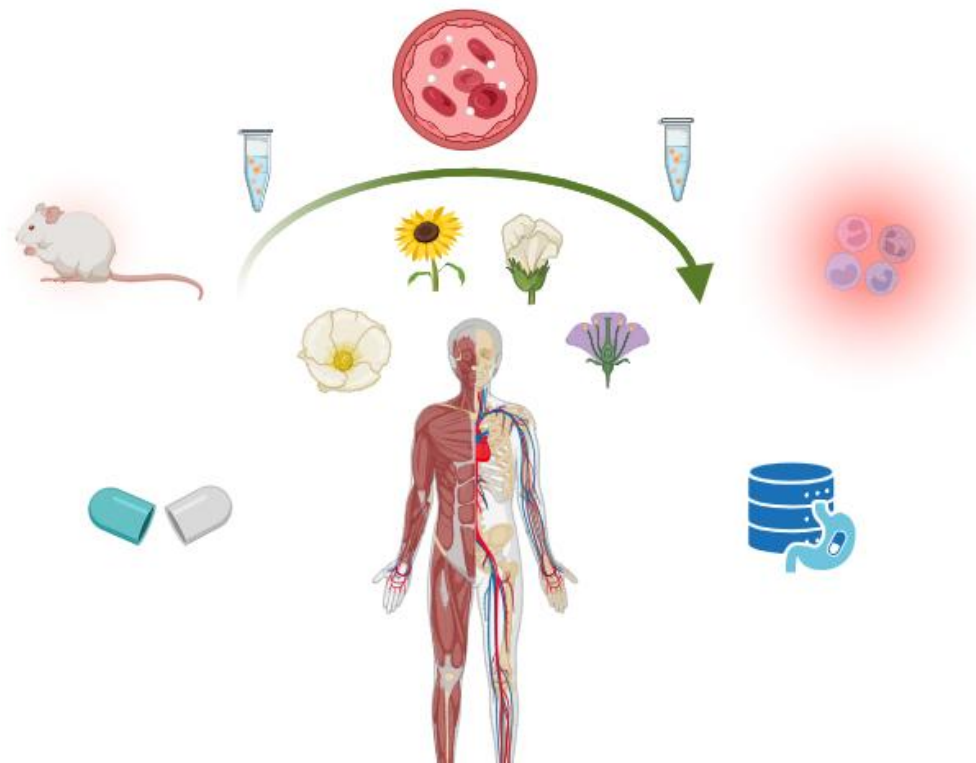


Figura 1. Dualidad de las flores comestibles menos exploradas como fuentes de compuestos con actividad en el organismo.

Las flores comestibles menos exploradas pueden utilizarse como materia prima para la elaboración de suplementos alimenticios, ya que diversos estudios científicos han demostrado su eficacia. Su composición química las hace altamente beneficiosas para la salud humana y pueden usarse como adyuvantes para tratar diversas afecciones, tales como: la inflamación articular, la prevención del fotodaño cutáneo y la supresión temprana de infecciones por malaria (Zakari et al., 2018; Hwang et al., 2019; Oancea et al., 2019).

Estudios han demostrado que el consumo de flores comestibles puede tener un impacto significativo en la salud y el bienestar general. Rescatar la importancia de las flores comestibles menos exploradas es crucial para extender su uso más allá del consumo local. También contribuye a la recuperación de especies de flores comestibles que han sido reemplazadas y amenazadas por la actividad humana (Kumari et al., 2021).

Por otro lado, la composición química de las flores comestibles incluye una amplia gama de metabolitos secundarios con diversas actividades biológicas. Estos metabolitos se clasifican en familias, incluyendo compuestos fenólicos, terpenos, terpenoides, compuestos esteroidales, saponinas y glucósidos cianogénicos.

Los compuestos fenólicos abarcan una amplia gama de metabolitos secundarios, que han reportado diversas actividades biológicas que dependen de su estructura química y concentración (Durazzo et al., 2019). El grupo de los polifenoles es una de las clases más grandes de metabolitos secundarios, incluyendo flavonoides y ácidos fenólicos como las categorías principales (Singh et al., 2020), consumidos frecuentemente en la dieta debido a su asociación con la reducción de biomarcadores inflamatorios y una mejor salud cardiovascular.

Los compuestos polifenólicos actúan como donantes de protones o electrones, resultando en un efecto protector sobre las células dañadas por radicales libres; como resultado, se reducen las enfermedades crónicas (Kumar et al., 2019). Se ha reportado que el consumo de polifenoles regula la presión arterial y mejora los biomarcadores séricos de la función endotelial. Además, disminuye la dimetilarginina sérica asimétrica (AMDA) y las lipoproteínas de baja densidad (LDL) oxidativas (Jayachandran et al., 2020). Específicamente, los trastornos relacionados con la ADMA pueden provocar fibrosis renal, cardíaca y hepática (Ahmad et al., 2013).

Los pétalos de flores comestibles menos exploradas pueden contener diferentes compuestos lipídicos, como terpenos y terpenoides (incluidos los fitoesteroles), que poseen importantes actividades biológicas. Se ha descubierto que estos compuestos poseen una amplia gama de actividades biológicas, incluyendo propiedades anticancerígenas, antimicrobianas, antiinflamatorias, antioxidantes y antialérgicas (Masyita et al., 2022). Además, los triterpenoides han sido ampliamente investigados por sus efectos biológicos, incluyendo propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas, antivirales, hepatoprotectoras, antidiabéticas y anticancerígenas (Edorh-Tossa et al., 2023; Xiao et al., 2018). Estos compuestos están contenidos en los aceites esenciales de algunas flores comestibles, como el frangipani, las rosas silvestres, el geranio de bosque, la camelia y la caléndula azteca.

Varios estudios han reportado una amplia variedad de beneficios biológicos relacionados con los fitoesteroles, incluyendo la reducción de los niveles de colesterol total y LDL, lo que a su vez resulta en una disminución del riesgo de enfermedades cardiovasculares, propiedades antiobesidad, antidiabéticas, antimicrobianas, antiinflamatorias, anticancerígenas e inmunomoduladoras (Nattagh-Esthivani et al., 2022). Además, la ingesta de fitoesteroles puede ayudar a disminuir los niveles de lípidos y colesterol en sangre y mejorar la resistencia a la insulina y el metabolismo lipídico (Edorh-Tossa et al., 2023).

En la Tabla 1 se presenta un resumen de los principales compuestos bioactivos de algunas flores comestibles menos exploradas y de las actividades benéficas para el organismo que han sido estudiadas y evidenciadas.

Tabla 1. Principales fitoquímicos y bioactividades de flores comestibles menos exploradas.

Flor comestible	Fitoquímico principal	Bioactividad y/o ensayo	Referencias
Peonia	CFT, derivados de PGG o NMA2: NMB4, NMB6, 3,6-bis- <i>O</i> -digaloil-1,2,4-tri- <i>O</i> -galoil- β -D-glucosa (NMC3).	Inhibición de la proliferación de células de cáncer pancreático.	Masota et al., 2022; Demasi et al., 2021
Frangipani	Aceite esencial: salicilato de bencilo, benzoato de bencilo, germacreno B, limoneno, linalol, α -cedreno, óxido de cariofileno y (E,E)- α -farneseno. Flores (bs): 2,3-dihidrobenzofurano o cumarano, 9-octadecino, ciclononanona. Componentes menores: quercetina y luteolina, cianidina-3-glucósido, ácido siríngico. Compuestos con actividad antibacteriana: 2-hidroxiciclopent-2-en-1-ona, fenol, alcohol bencílico, catecol e hidroquinona.	Inhibición de bacterias patógenas y peroxidación lipídica.	Durazzo et al., 2019; Öz et al., 2023 Lawal et al., 2014; Sahoo et al., 2021 Zheng et al., 2019 Ferdosi et al., 2023
Rosa alpina	CFT, Vitamina C.	Potencial antioxidante no probado.	Demasi et al., 2021
Rosa silvestre	Flores (bs): CFT, vitamina C. Aceite esencial: transgeraniol, linalol, cariofileno, tricosano, nonanal y (E)-2-hexenal.	Efecto ansiolítico.	Öz et al., 2021; Nemati et al., 2015
Lila común	Flores (bs): CFT, flavonoides, siringina c, acteósido c, equinacósido c, catequina c, ácido clorogénico c, ácido ferúlico c, quercetina c y kaempferol-glucósido c. Secoiridoides c: secologanósido, oleuropeína y dimetiloleuropeína.	Efectos antipiréticos, antiinflamatorios, antioxidantes y antidiabéticos. Citotoxicidad de línea tumoral HeLa (B16F10).	Gąsecka et al., 2023; Hanganu et al., 2021
Geranio	Flores (bs): CFT.	Actividad antimicrobiana y antiviral.	Tuominen et al., 2017
Cempasúchil	Ácido ascórbico Extracto acuoso: CFT y flavonoides.	Efecto antiinflamatorio, neuroprotector, antitumoral a través de la activación de apoptosis.	Moliner et al., 2018; Kazibwe et al., 2016
Kiri	Extracto etanólico apigenina y luteolina-7- <i>O</i> -glucósido.	Reducción de triglicéridos, colesterol LDL y acumulación	Liu et al., 2017

Flor comestible	Fitoquímico principal	Bioactividad y/o ensayo	Referencias
Girasol	Flores (bs): CFT.	lipídica. Mejora en los niveles de células del sistema autoinmune. Efecto protector contra el fotoenvejecimiento, inflamación y fotocarcinogénesis.	Ukiya et al., 2007
<i>Yucca elephantipes</i>	Flores (bs): rutina, ácido vainílico, ácido ferúlico, ácido cafeico, ácido clorogénico, kaempferol, ácido protocatecuico, quercetina y ácido gálico. (Z)-7-hexadeceno, (6Z,9Z)-6,9-heptadecadieno (6Z,9Z-C17dieno), (Z)-8-heptadeceno (8Z-C17eno), (Z)-9-octadeceno (9Z-C18eno) y (Z)-9-nonadeceno (9Z-C19eno), (E)-filamentol (4-hidroximetil-8-metil-1,3,7-nonatrieno), filamentolida, filamental (2-alilideno-6-metilhept-5-en-1-al) y filamentona.	Sugiere potencial antioxidante, regulador de presión arterial y prevención de la carcinogénesis, aunque no han sido probados.	Juarez-Trujillo et al., 2018 Tröger et al., 2021
Aciano	Compuestos volátiles en flores: β -cariofileno y α -humeleno.	Actividad antibacteriana	Lockowandt et al., 2018

Donde: CFT, contenido fenólico total; bs, base seca; PGG o NMA2, 2,3,4,6-penta-O-galoil- β -D-glucosa; NMB4, 3-O-digaloil-1,2,4,6-tetra-O-galoil- β -D-glucosa; NMB6, 6-O-digaloil-1,2,3,4-tetra-O-galoil- β -D-glucosa; NMC6: 3,6-bis-O-digaloil-1,2,4-tri-O-galoil- β -D-glucosa.

1.3 Usos potenciales de las flores comestibles menos exploradas en la ciencia y tecnología de alimentos

La incorporación de flores comestibles a la dieta o su uso como ingrediente en alimentos o productos puede ofrecer diversos beneficios para la salud de los consumidores (Sá et al., 2020). Esto las convierte en una alternativa viable como materia prima para la producción de suplementos, nutraceuticos y bebidas. Además, estos compuestos pueden extraerse y utilizarse como base para suplementos alimenticios o incluso para fármacos.

Las flores comestibles son conocidas por sus vibrantes colores, que atraen a los polinizadores. Estos colorantes provienen de pigmentos naturales como clorofilas, carotenoides y antocianinas. Este aspecto visual resulta ventajoso al utilizar flores comestibles como materia prima, ya que el color contribuye al atractivo y la calidad del producto alimenticio final (Dujmović et al., 2022). En este sentido, se han explorado los extractos hidrófilos de tres flores comestibles diferentes: rosa, aciano y dalia, como posibles sustitutos del extracto de antocianina en yogures. Estos extractos han mostrado cualidades comparables a las de un yogur de control, lo que los convierte en una alternativa viable (Pires et al., 2017).

Se han microencapsulado polvos rojos obtenidos de flores comestibles, como el aciano, y se han desarrollado como aditivos para productos alimenticios como dulces, gelatinas, pudines, bebidas y suplementos dietéticos (Różyło et al., 2022). El propósito de estos alimentos microencapsulados es mantener sus propiedades antioxidantes. Se han creado productos innovadores utilizando polvos de flores comestibles. Mortas (2023) sugirió un polvo a base de leche a partir de extracto de flor de malvarrosa, creado mediante secado por aspersión. Este producto listo para beber se deriva de una planta medicinal y tiene como objetivo promover la sostenibilidad alimentaria.

Los terpenos y terpenoides son varios compuestos importantes presentes en los aceites esenciales de flores comestibles. Estos compuestos son responsables de los aceites esenciales de numerosas plantas y se ha demostrado que presentan actividad antimicrobiana. Por lo tanto, pueden utilizarse como conservantes en la industria alimentaria. En el contexto de las aplicaciones alimentarias, se ha demostrado que los

aceites esenciales de los capullos de peonías (*Paenonia suffruticosa*) poseen propiedades antimicrobianas eficaces contra patógenos comunes transmitidos por los alimentos. Esto sugiere que podrían usarse como agente antimicrobiano natural en alimentos (Han & Bhat, 2024).

Además, informes recientes han demostrado que los extractos de frangipani exhiben actividad antibacteriana contra microorganismos como *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. aureus*, *C. albicans*, *S. pyogenes*, *S. typhi*, *B. pumilus*, *B. subtilis*, *S. dysenteriae*, *P. mirabilis*, *P. fluorescens*, *B. cereus*, *S. flexneri* y *M. furfur*. Además, estos extractos contienen una cantidad significativa de compuestos antioxidantes como fenoles y flavonoides, lo que sugiere su uso potencial como agentes antibacterianos con fines farmacéuticos (Candra et al., 2024).

Por otro lado, la flor de no me olvides (*Myosotis scorpioides* L.) se ha utilizado tradicionalmente en medicina. Se infunde para tratar diversas afecciones, como bronquitis, malaria e inflamación, y ha demostrado tener efectos supresores de microorganismos (Zakari et al., 2018). Algunas especies de rosas silvestres, como *Rosa micrantha*, son valiosas para aditivos alimentarios debido a su alto contenido de tocoferoles y ácido ascórbico, incluso superiores a los presentes en los cítricos. Esto hace que su actividad antioxidante sea importante para los aditivos. Además, los pigmentos carotenoides presentes en estas rosas podrían utilizarse como fuente natural y rentable de colorante alimentario (Guimarães et al., 2010).

Diversas especies de flores comestibles, como el hibisco (*Hibiscus micranthus* L.), la lila común (*Syringavulgaris* L.), el geranio rosado (*Pelargonium graveolens*), la flor de té (*Camellia sinenses* L.) y la flor de kiri (*Paulownia fourtunei*), han mostrado posibles propiedades antimicrobianas y beneficiosas para aplicaciones alimentarias. El hibisco demostró una inhibición significativa de *S. pyogenes*, *S. aureus* y *S. pneumonia* (Begashaw et al., 2017).

Las infusiones de flores de lila común contienen compuestos bioactivos como fenoles y ácidos orgánicos, lo que las hace valiosas para enriquecer la dieta de los consumidores de forma natural (Gąsecka et al., 2023). Los extractos de geranio rosado han demostrado

actividad antimicrobiana, mientras que los aceites esenciales han demostrado eficacia contra *E. coli* y una importante actividad antiviral. Esto sugiere que estas flores podrían utilizarse en la industria alimentaria como conservante natural. Es importante destacar que estas sustancias se consideran no tóxicas, ya que no produjeron efectos mutagénicos en las pruebas, lo que las hace inocuas (Androutsopoulou et al., 2021).

Si bien las flores del té son poco estudiadas, se le ha prestado especial atención debido a su uso en la elaboración de té. Se ha destacado que estas preparaciones son ricas en carbohidratos y algunos compuestos fenólicos, y que en modelos animales han regulado la homeostasis intestinal y estimulado la inmunorregulación, por lo que se consideran un alimento con potencial funcional, lo que las hace incorporar regularmente en la dieta (Chen et al., 2020). En modelos animales, se ha demostrado que regulan el equilibrio intestinal y estimulan la inmunorregulación. Debido a estos hallazgos, se considera que las flores de té tienen potencial funcional como alimento, y se recomienda incluirlas regularmente en la dieta.

El análisis cromatográfico del aceite esencial de las flores de kiri demostró que contiene 31 componentes volátiles conocidos por sus propiedades antibacterianas y antioxidantes. Además, se ha reportado su significativo potencial inhibidor de la xantina oxidasa, lo que lo hace ventajoso para el desarrollo de compuestos antioxidantes dirigidos a las proteínas en la industria alimentaria (Jianu et al., 2024).

Es importante señalar que ciertas flores e inflorescencias comestibles pueden ser perjudiciales para los humanos. Por lo tanto, es crucial identificar las propiedades nutricionales de las flores e inflorescencias, así como determinar la presencia de antinutrientes, toxinas y alérgenos, para garantizar la seguridad del consumo de flores no convencionales en la dieta humana, ya que se desconocen los compuestos específicos responsables de sus efectos beneficiosos.

Muchos de estos compuestos poseen múltiples bioactividades y podrían tener aplicaciones prometedoras en el sector sanitario siempre y cuando sean respaldados con la información científica.

Aunado a esto, la falta de información de flores endémicas de México y en específico del estado de Hidalgo, ha limitado el diseño de estrategias para la diversificación del uso de éstas en el campo de la alimentación. Entre las flores comestibles poco valoradas se encuentran las de palma (*Yucca* spp.), las cuales actualmente están desaprovechadas, a pesar de que es un tipo de vegetación xerófila que crece bajo estrés hídrico y donde el alimento suele escasear, además han sido desplazadas de la alimentación, lo que ha derivado en la necesidad de estudiar sus compuestos minoritarios, para obtener información acerca de sus posibles actividades biológicas con el propósito de utilizarlas en la formulación de un suplemento alimenticio.

1.4 Conclusiones

Existe una gran variedad de flores comestibles que aún no se han estudiado a fondo. Sin embargo, contienen una cantidad significativa de metabolitos bioactivos que podrían ofrecer diversos beneficios para la salud. La mayoría de ellas se han utilizado como alimento en algunas culturas, pero su estudio químico y sus actividades biológicas se han explorado mínimamente. Las flores menos conocidas podrían considerarse buenas fuentes de compuestos beneficiosos para la salud humana. Al examinar las propiedades y el contenido de metabolitos de estas flores, se puede recomendar su uso en la industria alimentaria, como suplementos, nutraceuticos o en el desarrollo de alimentos funcionales. También se puede recomendar su uso en el desarrollo de medicamentos contra el cáncer.

Referencias

- Abdel-Salam, N. A., Ghazy, N. M., Shawky, E., Sallam, S. M., & Shenouda, M. L. (2018). Validated HPTLC Method for Dihydrokaempferol-4'-O-glucopyranoside Quantitative Determination in Alcea Species. *Journal of Chromatographic Science*, 56(6), 518–523. <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmy025>
- Abdel-Salam, N. A., Ghazy, N. M., Sallam, S. M., Radwan, M. M., Wanas, A. S., ElSohly, M. A., El-Demellawy, M. A., Abdel-Rahman, N. M., Piacente, S., & Shenouda, M. L. (2018). Flavonoids of Alcea rosea L. and their immune stimulant, antioxidant and cytotoxic activities on hepatocellular carcinoma HepG-2 cell line. *Natural Product Research*, 32(6), 702–706. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1332602>
- Ahmad, F., & Tabassum, N. (2013). Effect of 70% ethanolic extract of roots of Paeonia officinalis Linn. on hepatotoxicity. *Journal of Acute Medicine*, 3(2), 45–49. <https://doi.org/10.1016/j.jacme.2013.04.001>
- Alam, P., Al-Yousef, H. M., Siddiqui, N. A., Alhowiriny, T. A., Alqasoumi, S. I., Amina, M., Hassan, W. H. B., Abdelaziz, S., & Abdalla, R. H. (2018). Anticancer activity and concurrent analysis of ursolic acid, β -sitosterol and lupeol in three different *Hibiscus* species (aerial parts) by validated HPTLC method. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 26(7), 1060–1067. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2018.05.015>
- Androutsopoulou, C., Christopoulou, S. D., Hahalis, P., Kotsalou, C., Lamari, F. N., & Vantarakis, A. (2021). Evaluation of Essential Oils and Extracts of Rose Geranium and Rose Petals as Natural Preservatives in Terms of Toxicity, Antimicrobial, and Antiviral Activity. *Pathogens*, 494. <https://doi.org/10.3390/pathogens10040494>
- Begashaw, B., Mishra, B., Tsegaw, A., & Shewamene, Z. (2017). Methanol leaves extract Hibiscus micranthus Linn exhibited antibacterial and wound healing activities. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 17(1), 337. <https://doi.org/10.1186/s12906-017-1841-x>
- Chitrakar, B., Zhang, M., & Bhandari, B. (2019). Edible flowers with the common name “marigold”: Their therapeutic values and processing. *Trends in Food Science & Technology*, 89, 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.008>

- Chen, D., Ding, Y., Chen, G., Sun, Y., Zeng, X., & Ye, H. (2020). Components identification and nutritional value exploration of tea (*Camellia sinensis* L.) flower extract: Evidence for functional food. *Food Research International*, 132, 109100. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109100>
- De la Rosa, L. A., Moreno-Escamilla, J. O., Rodrigo-García, J., & Alvarez-Parrilla, E. (2018). Phenolic compounds. In E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables* (pp. 317–350). Woodhead Publishing.
- Demasi, S., Caser, M., Donno, D., Enri, S. R., Lonati, M., & Scariot, V. (2021). Exploring wild edible flowers as a source of bioactive compounds: New perspectives in horticulture. *Folia Horticulturae*, 33(1), 27–48. <https://doi.org/10.2478/fhort-2021-0004>
- Durazzo, A., Lucarini, M., Souto, E. B., Cicala, C., Caiazzo, E., Izzo, A. A., Novellino, E., & Santini, A. (2019). Polyphenols: A concise overview on the chemistry, occurrence, and human health. *Phytotherapy Research*, 33(9), 2221–2243. <https://doi.org/10.1002/ptr.6419>
- Dujmović, M., Radman, S., Opačić, N., Fabek Uher, S., Mikuličin, V., Voća, S., & Šic Žlabur, J. (2022). Edible Flower Species as a Promising Source of Specialized Metabolites. *Plants*, 11(19), 2529. <https://doi.org/10.3390/plants11192529>
- Edorh Tossa, P., Belorgey, M., Dashbaldan, S., Paćzkowski, C., & Szakiel, A. (2023). Flowers and Inflorescences of Selected Medicinal Plants as a Source of Triterpenoids and Phytosterols. *Plants*, 12(9), 1838. <https://doi.org/10.3390/plants12091838>
- Ferdosi, M. F. H., Naseem, M. K., Afzal, A., Khan, I. H., & Javaid, A. (2023). Potential antimicrobial compounds in flower extract of *Plumeria alba*. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(6), 104719. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104719>
- Fernandes, L., Ramalhosa, E., Pereira, J. A., Saraiva, J. A., & Casal, S. (2018). The Unexplored Potential of Edible Flowers Lipids. *Agriculture*, 8(10), 146. <https://doi.org/10.3390/agriculture8100146>
- Gąsecka, M., Krzysińska-Bródka, A., Magdziak, Z., Czuchaj, P., & Bykowska, J. (2023). Phenolic Compounds and Organic Acid Composition of *Syringa vulgaris* L. Flowers

- and Infusions. *Molecules*, 28(13), 5159. <https://doi.org/10.3390/molecules28135159>
- Guimarães, R., Barros, L., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. (2010). Studies on chemical constituents and bioactivity of *Rosa micrantha*: an alternative antioxidants source for food, pharmaceutical, or cosmetic applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(10), 6277–6284. <https://doi.org/10.1021/jf101394w>
- Han, C. V., & Bhat, R. (2014). In vitro control of food-borne pathogenic bacteria by essential oils and solvent extracts of underutilized flower buds of *Paeonia suffruticosa* (Andr.). *Industrial Crops and Products*, 54, 203–208. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.014>
- Hwang, E., Gao, W., Xiao, Y. K., Ngo, H. T. T., & Yi, T. H. (2019). *Helianthus annuus* L. flower prevents UVB-induced photodamage in human dermal fibroblasts by regulating the MAPK/AP-1, NFAT, and Nrf2 signaling pathways. *Journal of Cellular Biochemistry*, 120(1), 601–612. <https://doi.org/10.1002/jcb.27417>
- Hanganu, D., Niculae, M., Ielciu, I., Olah, N. K., Munteanu, M., Burtescu, R., Ștefan, R., Olar, L., Pall, E., Andrei, S., Vodnar, D. C., Benedec, D., & Oniga, I. (2021). Chemical Profile, Cytotoxic Activity and Oxidative Stress Reduction of Different *Syringa vulgaris* L. Extracts. *Molecules*, 26(11), 3104. <https://doi.org/10.3390/molecules26113104>
- Ito H. (2011). Metabolites of the ellagitannin geraniin and their antioxidant activities. *Planta Medica*, 77(11), 1110–1115. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1270749>
- Jayachandran, I., Sundararajan, S., Venkatesan, S., Paadukaana, S., Balasubramanyam, M., Mohan, V., & Manickam, N. (2020). Asymmetric dimethylarginine (ADMA) accelerates renal cell fibrosis under high glucose condition through NOX4/ROS/ERK signaling pathway. *Scientific Reports*, 10(1), 16005. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72943-2>
- Juarez-Trujillo, N., Monribot-Villanueva, J. L., Jiménez-Fernández, V. M., Suárez-Montaño, R., Aguilar-Colorado, Á. S., Guerrero-Analco, J. A., & Jiménez, M. (2018). Phytochemical characterization of Izote (*Yucca elephantipes*) flowers. *Federal*

Research Centre for Cultivated Plants, 91, 202–210.
<https://doi.org/10.5073/jabfq.2018.091.027>

- Jianu, C., Mioc, M., Mioc, A., Şoica, C., Lukinich-Gruia, A. T., Bujancă, G., & Rădulescu, M. (2024). Insights into the Paulownia Shan tong (*Fortunei* × *Tomentosa*) Essential Oil and In Silico Analysis of Potential Biological Targets of Its Compounds. *Foods*, 13(7), 1007. <https://doi.org/10.3390/foods13071007>
- Kandylis, P. (2022). Phytochemicals and Antioxidant Properties of Edible Flowers. *Applied Sciences*, 12(19), 9937. <https://doi.org/10.3390/app12199937>
- Kazibwe, Z., Kim, D., Chun, S., & Gopal, J. (2016). Ultrasonication assisted ultrafast extraction of *Tagetes erecta* in water: cannonading antimicrobial, antioxidant components. *Journal of Molecular Liquids*, 229, 453–458. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.12.044>
- Kim, E. Y., Lee, S. U., & Kim, Y. H. (2022). 1,2,3,4,6-Penta-*O*-galloyl-β-D-glucose Inhibits CD44v3, a cancer stem cell marker, by regulating its transcription factor, in human pancreatic cancer cell line. *Animal Cells and Systems*, 26(6), 328–337. <https://doi.org/10.1080/19768354.2022.2152864>
- Kumari, P., Ujala, & Bhargava, B. (2021). Phytochemicals from edible flowers: Opening a new arena for healthy lifestyle. *Journal of Functional Foods*, 78, 104375. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104375>
- Kumar, N., & Goel, N. (2019). Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnology Reports*, 24, e00370. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00370>
- Lawal, O. A., Ogunwande, I. A., & Opoku, A. R. (2014). Constituents of Essential Oils from the Leaf and Flower of *Plumeria alba* Grown in Nigeria. *Natural Product Communications*, 9(11), 1613–1614. <https://doi.org/10.1177/1934578x1400901121>
- Liu, C., Ma, J., Sun, J., Cheng, C., Feng, Z., Jiang, H., & Yang, W. (2017). Flavonoid-Rich Extract of *Paulownia fortunei* Flowers Attenuates Diet-Induced Hyperlipidemia, Hepatic

- Steatosis and Insulin Resistance in Obesity Mice by AMPK Pathway. *Nutrients*, 9(9), 959. <https://doi.org/10.3390/nu9090959>
- Lockowandt, L., Pinela, J., Roriz, C. L., Pereira, C., Abreu, R. M., Calhelha, R. C., Alves, M. J., Barros, L., Bredol, M., & Ferreira, I. C. (2018). Chemical features and bioactivities of cornflower (*Centaurea cyanus* L.) capitula: The blue flowers and the unexplored non-edible part. *Industrial Crops and Products*, 128, 496–503. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.059>
- Masota, N. E., Ohlsen, K., Schollmayer, C., Meinel, L., & Holzgrabe, U. (2022). Isolation and Characterization of Galloylglucoses Effective against Multidrug-Resistant Strains of *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae*. *Molecules*, 27(15), 5045. <https://doi.org/10.3390/molecules27155045>
- Masyita, A., Mustika Sari, R., Dwi Astuti, A., Yasir, B., Rahma Rumata, N., Emran, T. B., Nainu, F., & Simal-Gandara, J. (2022). Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. *Food Chemistry: X*, 13, 100217. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100217>
- Meurer, M. C., Mees, M., Mariano, L. N. B., Boeing, T., Somensi, L. B., Mariott, M., da Silva, R. C. M. V. A. F., Dos Santos, A. C., Longo, B., Santos França, T. C., Klein-Júnior, L. C., de Souza, P., de Andrade, S. F., & da Silva, L. M. (2019). Hydroalcoholic extract of *Tagetes erecta* L. flowers, rich in the carotenoid lutein, attenuates inflammatory cytokine secretion and improves the oxidative stress in an animal model of ulcerative colitis. *Nutrition Research*, 66, 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2019.03.005>
- Mortas, M. (2023). Characterization of a New Powdered, Milk-Based Medicinal Plant (*Alcea rosea*) Drink Product. *Sustainability*, 15(12), 9320. <https://doi.org/10.3390/su15129320>
- Moliner, C., Barros, L., Dias, M. I., López, V., Langa, E., Ferreira, I. C. F. R., & Gómez-Rincón, C. (2018). Edible Flowers of *Tagetes erecta* L. as Functional Ingredients: Phenolic

- Composition, Antioxidant and Protective Effects on *Caenorhabditis elegans*. *Nutrients*, 10(12), 2002. <https://doi.org/10.3390/nu10122002>
- Mulík, S., & Ozuna, C. (2020). Mexican edible flowers: Cultural background, traditional culinary uses, and potential health benefits. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 21, 100235. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100235>
- Nattagh-Eshstivani, E., Barghchi, H., Pahlavani, N., Barati, M., Amiri, Y., Fadel, A., Khosravi, M., Talebi, S., Arzhang, P., Ziaei, R., & Ghavami, A. (2022). Biological and pharmacological effects and nutritional impact of phytosterols: A comprehensive review. *Phytotherapy Research*, 36(1), 299–322. <https://doi.org/10.1002/ptr.7312>
- Nemati, Z., Komaki, A., Shahidi, S., & Sarihi, A. (2015). Effect of a hydroalcoholic extract of rosa canina flowers on anxiety in rats. *Neurophysiology*, 47(2), 133–137. <https://doi.org/10.1007/s11062-015-9509-y>
- Candra, K. P., Lestari, G. M., Prabowo, S., Yuliani, Y., Marwati, M., & Rachmawati, M. (2024c). Potential of frangipani flower (*Plumeria* sp.) as a source of antibacterial and antioxidants and its application in the pharmacological activities. *Journal Natural*, 24(2), 115-127. <https://doi.org/10.24815/jn.v24i2.29356>
- Pires, T. C. P., Barros, L., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. (2019). Edible flowers: Emerging components in the diet. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 244–258. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.020>
- Pires, T. C., Dias, M. I., Barros, L., Calhelha, R. C., Alves, M. J., Oliveira, M. B. P., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. (2017). Edible flowers as sources of phenolic compounds with bioactive potential. *Food Research International*, 105, 580–588. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.014>
- Oancea, S., Perju, M., & Olosutean, H. (2019). Influence of enzyme-aided extraction and ultrasonication on the phenolics content and antioxidant activity of *Paeonia officinalis* L. petals. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 85(7), 845–856. <https://doi.org/10.2298/jsc190807120o>
- Öz, M., Deniz, I., Okan, O. T., Baltacı, C., & Karatas, S. M. (2021). Determination of the Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Different Parts of

- Rosa canina* L. and *Rosa pimpinellifolia* L. Essential Oils. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 24(3), 519–537. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2021.1936204>
- Rop, O., Mlcek, J., Jurikova, T., Neugebauerova, J., & Vabkova, J. (2012). Edible Flowers—A New Promising Source of Mineral Elements in Human Nutrition. *Molecules*, 17(6), 6672–6683. <https://doi.org/10.3390/molecules17066672>
- Rózyło, R., Szymańska-Chargot, M., Zdunek, A., Gawlik-Dziki, U., & Dziki, D. (2022). Microencapsulated Red Powders from Cornflower Extract-Spectral (FT-IR and FT-Raman) and Antioxidant Characteristics. *Molecules*, 27(10), 3094. <https://doi.org/10.3390/molecules27103094>
- Sá, A. G. A., Moreno, Y. M. F., & Carciofi, B. a. M. (2020). Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 170–184. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.011>
- Passos, F. R. S., Araújo-Filho, H. G., Monteiro, B. S., Shanmugam, S., De Souza Araújo, A. A., Da Silva Almeida, J. R. G., Thangaraj, P., Júnior, L. J. Q., & De Souza Siqueira Quintans, J. (2021). Anti-inflammatory and modulatory effects of steroidal saponins and sapogenins on cytokines: A review of pre-clinical research. *Phytomedicine*, 96, 153842. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2021.153842>
- Sahoo, A., Dash, B., Jena, S., Ray, A., Panda, P. C., & Nayak, S. (2021). Phytochemical Composition of Flower Essential Oil of *Plumeria alba* Grown in India. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 24(4), 671–676. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2021.1965036>
- Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2020). Phenolic composition, antioxidant potential and health benefits of citrus peel. *Food Research International*, 132, 109114. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109114>
- Sotelo, A., López-García, S., & Basurto-Peña, F. (2007). Content of nutrient and antinutrient in edible flowers of wild plants in Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62(3), 133–138. <https://doi.org/10.1007/s11130-007-0053-9>
- Tuominen, A., & Salminen, J. P. (2017). Hydrolyzable Tannins, Flavonol Glycosides, and Phenolic Acids Show Seasonal and Ontogenic Variation in *Geranium sylvaticum*.

- Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(31), 6387–6403.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00918>
- Tröger, A., Svensson, G. P., Galbrecht, H. M., Twele, R., Patt, J. M., Bartram, S., Zarbin, P. H. G., Seagraves, K. A., Althoff, D. M., von Reuss, S., Raguso, R. A., & Francke, W. (2021). Tetrarorsesquiterpenoids as Attractants of Yucca Moths to Yucca Flowers. *Journal of Chemical Ecology*, 47(12), 1025–1041. <https://doi.org/10.1007/s10886-021-01308-4>
- Ukiya, M., Akihisa, T., Yasukawa, K., Koike, K., Takahashi, A., Suzuki, T., & Kimura, Y. (2007). Triterpene glycosides from the flower petals of sunflower (*Helianthus annuus*) and their anti-inflammatory activity. *Journal of Natural Products*, 70(5), 813–816. <https://doi.org/10.1021/np078002l>
- Xiao, S., Tian, Z., Wang, Y., Si, L., Zhang, L., & Zhou, D. (2018). Recent progress in the antiviral activity and mechanism study of pentacyclic triterpenoids and their derivatives. *Medicinal Research Reviews*, 38(3), 951–976. <https://doi.org/10.1002/med.21484>
- Zakari, A., Kubmarawa, D., Isyaka, S. M., Kendeson, C. A., Baba, E. B. (2018). In vivo Evaluation of Antiplasmodial Properties of *Myosotis scorpioides* L. (Boraginaceae) Extract in Albino Mice Infected with *Plasmodium bergeri*. *Tropical Journal of Natural Product Research*, 2(4),198–202.
- Zheng, J., Meenu, M., & Xu, B. (2019). A systematic investigation on free phenolic acids and flavonoids profiles of commonly consumed edible flowers in China. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 172, 268–277. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2019.05.007>

Capítulo 2: Caracterización fisicoquímica e identificación botánica de la flor de palma

Resumen

Las flores comestibles están recibiendo cada vez más atención por sus beneficios para la salud. Entre ellas se encuentran las flores de palma (*Yucca* spp.), que se consumen en sus zonas nativas, generalmente tras métodos de cocción como el asado o el hervido. Sin embargo, existe información limitada sobre sus perfiles nutricionales y fitoquímicos, así como sobre los cambios que experimentan durante la cocción. Por lo tanto, este capítulo tuvo como objetivos evaluar las características morfológicas y los perfiles nutricionales y fitoquímicos de dos variedades de flores de palma, así como analizar los cambios en los nutrientes asociados con procesos comunes de cocción. La identificación botánica se realizó mediante observaciones morfológicas. Además, se realizaron análisis cualitativos de fitoquímicos, análisis proximales, perfiles de aminoácidos y ácidos grasos, y la cuantificación por ICP-OES de metales y metaloides que pueden ser tóxicos (cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, manganeso y arsénico). Las dos variedades se identificaron como *Yucca elephantipes* y *Yucca filifera*. El análisis fitoquímico proporcionó una visión general de los compuestos presentes en las flores de palma. Los resultados mostraron que ambas variedades resultaron positivas para todos los grupos fitoquímicos, excepto para los glucósidos. Los carbohidratos y la fibra dietética resultaron ser nutrientes abundantes en ambas variedades. Después del hervido, se observó un aumento en el contenido de proteínas y fibra, mientras que no se encontraron cambios significativos en el contenido de nutrientes tras el asado. Los principales ácidos grasos (C16:0, C18:1n-9c y C18:2n-6c) se conservaron tras la ebullición, lo que indica que este método de cocción es el más adecuado para la preparación de estas flores. Además, los niveles de metales y metaloides tóxicos estuvieron por debajo del límite de detección. En general, los hallazgos sugieren que las flores de palma pueden servir como una fuente alternativa valiosa de nutrientes, proporcionando proteína vegetal de alto valor biológico y posibles beneficios para la salud de los consumidores.

Palabras clave: Flores comestibles, *Yucca*, análisis fitoquímico, contenido nutrimental, hervido y asado.

2.1 Introducción

Desde tiempos antiguos, las flores comestibles se han utilizado por sus posibles propiedades terapéuticas en medicina y con fines culinarios. Esto se debe principalmente a sus atractivos colores y formas, que aportan aromas y sabores exóticos y agradables a los platillos. Además, estas partes de las plantas pueden contener diversos fitoquímicos con aplicaciones funcionales, considerados bioactivos, ya que pueden interactuar con uno o más componentes de los tejidos vivos y ejercer una amplia gama de efectos (Pires et al., 2019). En dosis adecuadas, estos compuestos bioactivos pueden ayudar a reducir el riesgo de enfermedades crónicas y a prevenir, controlar o tratar dichas enfermedades (Takahashi et al., 2020). Asimismo, las flores comestibles, como las flores de palma, contienen altos niveles de polisacáridos que pueden emplearse para desarrollar películas comestibles con excelentes propiedades de barrera, mecánicas y antimicrobianas/antioxidantes (Esfandiari et al., 2025).

Las flores comestibles pueden incorporarse a los platillos de diversas maneras. Pueden consumirse directamente, precocidas o incorporadas a guarniciones para realzar el atractivo visual. Además, se utilizan tanto en platillos salados como en dulces, e incluso pueden emplearse para su consumo en forma de infusiones (Pires et al., 2016). En este sentido, en la cocina tradicional mexicana se ha utilizado durante siglos una amplia variedad de flores comestibles. Estas flores se consumen comúnmente como ingredientes principales, a menudo en combinación con elementos ampliamente utilizados como huevos y frijoles (Mulík & Ozuna, 2020).

Por su parte, las flores de *Yucca* spp. son comestibles y comúnmente se denominan *flores de palma* o *flores de izote* (Pires et al., 2016). Son nativas de Centroamérica y México y pertenecen a la familia *Agavaceae*. Las flores de palma suelen prepararse mediante ebullición o asado y, antes de ser consumidas, en la cocina tradicional mexicana, se separan y se utilizan en diversos platillos como el *chileatole*, con huevos, con carne, en caldos, entre otros. En la medicina tradicional, estas flores han sido utilizadas históricamente para tratar

enfermedades renales y como diurético, a pesar de la falta de evidencia clínica que respalde estos efectos (Juárez-Trujillo et al., 2018).

A pesar de la presencia de compuestos beneficiosos en algunas flores, la investigación continúa para determinar su seguridad para el consumo (Pires et al., 2019). Existe una cantidad limitada de literatura disponible sobre las especies de *Yucca*, por lo que, este capítulo tuvo como objetivo comparar los perfiles nutricionales y fitoquímicos de dos variedades de flores de palma, así como examinar cómo cambian sus composiciones nutricionales cuando se preparan utilizando dos métodos de cocción diferentes: hervido y asado.

2.2 Metodología

2.2.1 Muestras

Las flores de palma (aproximadamente 10 kg) se recolectaron en dos localidades en México (Metztlilán, 20°25'25.6" N, -98°41'14.2" O, 1776 msnm; y Atotonilco El Grande, 20°15'35.6" N, -98°38'20.2" O, 2237 msnm), ambos municipios del estado de Hidalgo. Los pétalos se separaron de las anteras y la base floral, se lavaron y se congelaron a -20 °C hasta su uso.

2.2.2 Identificación botánica

Las dos variedades de flores de palma (*Yucca* spp.) se identificaron en fresco mediante el registro y la observación del tipo de suelo, de la vegetación y de la localización geográfica en la que se recolectaron. Los datos recogidos fueron: la altura de las palmas, el color de la corteza del tallo principal, el orden de las hojas, el color de las hojas maduras, la base y el color de las flores, el pedúnculo, las ramas florales, el tipo y la orientación de la inflorescencia.

Adicionalmente, los especímenes se recolectaron y preservaron en alcohol etílico al 96 % para su posterior comparación e identificación. Algunas flores y hojas de cada variedad se prensaron para la preparación de ejemplares de herbario que se depositaron en el Herbario HGOM (HBR) del Centro de Investigación Biológica (CBR) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH). Los datos se verificaron por personal experto del herbario para identificar las variedades.

2.2.3 Análisis fitoquímico

El cribado fitoquímico se realizó mediante pruebas rápidas ampliamente empleadas para confirmar la presencia de distintos grupos de compuestos. Este análisis se realizó en ambas variedades de flores de palma. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

2.2.3.1 Preparación del extracto

Las muestras de flores de palma se liofilizaron (133×10^{-3} mmHg y -50°C), se molieron y se homogeneizaron hasta obtener un tamaño de partícula ≤ 500 μm . Posteriormente, se almacenaron en botellas de polietileno selladas herméticamente hasta su análisis.

Para las pruebas, se preparó un extracto acuoso mezclando 1 g de flores liofilizadas con 10 mL de agua desionizada. La mezcla se sometió a ultrasonido durante 15 min y posteriormente se centrifugó a 3000 rpm durante 10 min. Las pruebas cualitativas colorimétricas se realizaron sobre el sobrenadante (extracto).

Todas las metodologías descritas a continuación se basaron en la aparición de un color característico y en la identificación de cada grupo de compuestos.

2.2.3.2 Compuestos fenólicos

Se colocó una alícuota del extracto en microtubos de 1.5 mL. Posteriormente, se añadieron tres gotas de una solución al 10 % de FeCl_3 y 200 μL de agua desionizada. La presencia de compuestos fenólicos se indicó por la aparición de un color verde oscuro (Devika & Koilpillai, 2012).

2.2.3.3 Fitoesteroles

Se utilizó la prueba de Liebermann–Burchard para identificar fitosteroles. Para realizar la prueba, se mezclaron 500 μL del extracto con 25 μL de anhídrido acético y, posteriormente, se añadieron lentamente 4 gotas de H_2SO_4 concentrado. La presencia de fitosteroles en la muestra se indicó por la aparición de un color verde azulado (Velavan, 2015).

2.2.3.4 Terpenoides

Se tomó una alícuota de 500 µL del extracto y se transfirió a un microtubo; posteriormente, se mezcló con 200 µL de cloroformo y 3 µL de H₂SO₄ concentrado. La aparición de un color marrón rojizo en la interfase indicó la presencia de terpenoides en la muestra (Velavan, 2015).

2.2.3.5 Triterpenoides

Para esta prueba, se tomó una alícuota de 100 µL del extracto y se mezcló con 100 µL de cloroformo, 100 µL de anhídrido acético y 200 µL de H₂SO₄ concentrado. La aparición de un color rojo indicó un resultado positivo (Velavan, 2015).

2.2.3.6 Alcaloides

Para detectar estos metabolitos en las flores de *Yucca*, se tomaron 25 µL del extracto y, posteriormente, se añadieron 100 µL de ácido clorhídrico y 500 µL del reactivo de Wagner. La presencia de alcaloides se indicó por la formación de un precipitado marrón rojizo (Devika & Koilpillai, 2012).

2.2.3.7 Glucósidos cardíacos

Este grupo de compuestos se detectó mediante el siguiente procedimiento: se tomaron 50 µL del extracto, luego se añadieron 200 µL de una solución que contenía ácido acético glacial y 5 % de FeCl₃. Posteriormente, se añadieron lentamente 4 gotas de H₂SO₄. La presencia de estos compuestos se indicó por la aparición de un anillo marrón en la interfase (Velavan, 2015).

2.2.3.8 Quinonas

Se tomaron 100 µL del extracto y se añadieron a un vial de vidrio. Luego, se añadieron 100 µL de H₂SO₄ a través de las paredes. El cambio de color de la solución a rojo indicó una prueba positiva para la detección de quinonas (Velavan, 2015).

2.2.3.9 Determinación de antinutrientes

Fitatos

Se tomaron 50 μ L del extracto y luego se añadió lentamente una solución de FeCl_3 (0.1 M) hasta que apareció un color marrón amarillento. La persistencia del color durante 5 min indicó un resultado positivo (Halder & Khaled, 2021).

Saponinas

Para preparar la solución de prueba, se pesó 1 g de muestra liofilizada de flor de palma y se añadieron 5 mL de agua destilada. La mezcla se centrifugó a 3000 rpm durante 10 min para separar el extracto (sobrenadante). Posteriormente, se mezcló 1 mL del extracto con 5 mL de agua destilada y se agitó en vórtex durante 30 s, y se dejó reposar durante 15 min. La presencia de espuma indicó una prueba positiva para saponinas (Halder & Khaled, 2021).

Taninos

Para confirmar la presencia de taninos en las muestras, se tomaron 100 μ L del extracto de la flor y se añadieron 200 μ L de FeCl_3 al 5 %. La formación de un color azul oscuro o verde indicó un resultado positivo (Devika & Koilpillai, 2012).

2.2.4 Análisis de metales pesados

2.2.4.1 Preparación de la muestra

Se pesaron 200 ± 0.1 mg de muestra liofilizada (sección 2.3.1) y se colocaron en un tubo de digestión por microondas. Después de añadir 5 mL de HNO_3 concentrado, el tubo se selló y las muestras se sometieron a digestión ácida por microondas a 185°C durante 15 min. Posteriormente, el tubo se abrió para liberar los gases y, a continuación, la solución se transfirió a un matraz aforado de 50 mL. Finalmente, se añadió agua desionizada hasta completar el volumen final.

2.2.4.2 Análisis por ICP

Las concentraciones de metales pesados en las muestras y en las soluciones estándar se analizaron mediante un espectrofotómetro de emisión óptica con plasma acoplado

inductivamente (ICP-OES, Perkin Elmer Optima 3000 XL). Se prepararon las curvas de calibración en un intervalo de 0.1–1 mg L⁻¹, diluyendo soluciones estándar multielementales (que contenían As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg y Mn) para obtener soluciones de trabajo, asegurando rangos lineales y correlaciones superiores a 0.9995. Todas las soluciones se analizaron por ICP-OES con un flujo de argón (Ar) de 8 L min⁻¹. El contenido de metales se determinó mediante la interpolación de las curvas de calibración.

2.2.5 Perfiles de aminoácidos y ácidos grasos

2.2.5.1 Aminoácidos

Para cuantificar los aminoácidos en las flores de palma, se llevó a cabo el siguiente procedimiento: se mezcló una porción de 1.0 ± 0.1 g de flores liofilizadas (sección 2.3.1) con 10 mL de ácido tricloroacético y se homogeneizó. La mezcla se centrifugó y el sobrenadante resultante se utilizó para análisis posteriores. Los aminoácidos primarios se determinaron mediante derivatización con OPA (*o*-ftalaldehído), seguida de derivatización con FMBD (4-cloro-7-nitrobenzofurazán) para los aminoácidos secundarios. La cuantificación se realizó mediante RP-HPLC con un conjunto de soluciones estándar que contenían cada aminoácido, siguiendo la metodología propuesta por Vázquez-Ortiz y colaboradores (1995), con algunas modificaciones.

2.2.5.2 Ácidos grasos

El análisis de ácidos grasos se realizó mediante cromatografía de gases (GC) utilizando el método desarrollado por Añorve-Morga y colaboradores (2015), con algunas modificaciones. Primero, se pesaron 5 g de muestra liofilizada y se añadieron 10 mL de una mezcla CH₂Cl₂:MeOH (2:1). La mezcla se agitó en vórtex durante 1 min y se mantuvo en refrigeración por 12 h para asegurar una extracción completa. Posteriormente, la mezcla se centrifugó a 6000 rpm durante 5 min y el sobrenadante se utilizó para la derivatización con el fin de obtener ésteres metílicos de ácidos grasos (FAMES).

Para preparar los metilésteres de los ácidos grasos (FAMES), se calentaron 500 µL del sobrenadante con 1 mL de BF₃:MeOH (12.5:100 v/v) a 95°C durante 10 min. Después de enfriar, los FAMES se extrajeron con 500 µL de CH₂Cl₂ y se llevaron al análisis por GC.

El método por GC consistió en emplear una columna capilar Supelco™ SP-2560 (75 m × 0.18 mm, 0.14 µm), con un volumen de inyección en modo split de 1 µL, y N₂ como gas portador a un flujo de 1 mL min⁻¹. Las temperaturas del inyector y del detector se mantuvieron a 230 y 250°C, respectivamente. El programa de temperatura fue el siguiente: inicio a 150°C, incrementando a una velocidad de 4°C por min hasta 214°C y manteniéndose durante 2 min; posteriormente, se incrementó a una velocidad de 2.5°C por min hasta 240°C y se mantuvo finalmente durante 5 min. La identificación de los FAMEs se realizó comparando los tiempos de retención con un estándar (FAME Mix C4–C24, Supelco®, USA) y la cuantificación se llevó a cabo mediante interpolación a partir de las curvas de calibración.

2.2.6 Efecto del tratamiento de cocción en el contenido de nutrientes

2.2.6.1 Tratamientos de muestra

Las muestras sometidas a procesos de ebullición se colocaron en una proporción 1:15 en agua hirviendo. Las muestras destinadas al asado se colocaron sobre una parrilla a 100°C y se voltearon tres veces. Ambos procesos se llevaron a cabo durante 5 min. Posteriormente, las muestras hervidas y asadas se liofilizaron (133 × 10⁻³ mmHg, -50 °C), se molieron y se homogeneizaron hasta un tamaño de partícula de ≤500 µm y se almacenaron en recipientes sellados herméticamente para su análisis posterior.

2.2.6.2 Análisis proximal

Las determinaciones del análisis proximal se realizaron siguiendo los métodos descritos por la AOAC (AOAC, 2005). El análisis incluyó la determinación de grasa cruda (AOAC 920.39), cenizas (AOAC 942.05) y proteína cruda (AOAC 954.01). El contenido total de fibra dietética se determinó mediante el kit de ensayo de Sigma-Aldrich, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. El contenido de carbohidratos se calculó por diferencia a partir de los resultados del análisis proximal. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado utilizando muestras de flores de palma frescas, hervidas y asadas. Todos los datos se reportaron en base seca.

2.3 Resultados y discusión

2.3.1 Identificación botánica

Las especies recolectadas para este estudio mostraron diferencias morfológicas significativas (Tabla 2). Una de las diferencias más notables es la altura de las palmas. Los especímenes de *Y. elephantipes*, por ejemplo, pueden alcanzar alturas de aproximadamente 5 m (Figura 2A), mientras que *Y. filifera* puede alcanzar más de 10 m de altura (Figura 2B). Además, se observaron diferencias notables en la vegetación circundante y en las localizaciones geográficas de ambas especies. *Y. filifera* se encuentra típicamente en áreas rodeadas de bosques espinosos y matorral xerófilo (Sotelo et al., 2007), mientras que *Y. elephantipes* se encuentra comúnmente en tierras cultivadas (Juarez-Trujillo et al., 2018). En este caso, la flor recolectada para esta investigación se encontró cerca de árboles de pera, manzana y durazno.

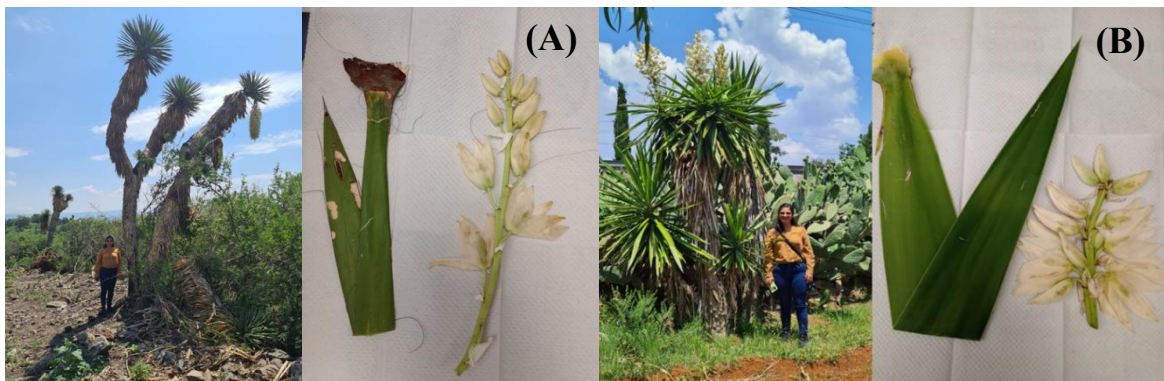


Figura 2. Flores de palma (A) *Yucca filifera* y (B) *Yucca elephantipes*.

El color del tallo, tanto en hojas jóvenes como en maduras, difiere entre las dos especies. En *Y. elephantipes*, el tallo y las hojas son de color marrón claro, mientras que en *Y. filifera* el tallo es marrón oscuro y las hojas son amarillas. Otra distinción notable es que la base floral de *Y. elephantipes* es de color verde. Además, las hojas y los racimos florales de *Y. filifera* presentan pequeñas flores marrones que sobresalen entre ellas (Figura 2B), lo cual no se observa en la otra variedad.

Tabla 2. Diferencias morfológicas entre las especies de flores de palma.

Característica botánica	<i>Y. elephantipes</i>	<i>Y. filifera</i>
Vegetación	Vegetación de cultivo (maíz, árbol frutal)	Bosque espinoso, matorral xérico
Ubicación geográfica (Coordenadas)	20°25'25.6"N 98°41'14.2"E	20°15'35.6"N 98°38'20.2"E
Altura de la palma	Ramificada de hasta 5 m	Ramificada de hasta 10 m
Color del tallo principal	Café claro	Café oscuro
Persistencia de hojas secas	Persistente en todo el tallo	Caducifolio en la base y persistente hasta la mitad del tallo.
Color de las hojas de maduración avanzada	Café claro, muy similar al tallo	Amarilla
Color de la base floral	Verde	Blanco
Color del pedúnculo	Verde claro	Verde claro
Color de rama floral	Verde	Verde
Tipo de inflorescencia	Panículo colgante	Panículo erecta

Y. elephantipes: *Yucca elephantipes*, *Y. filifera*: *Yucca filifera*.

2.3.2 Evaluación fitoquímica y de antinutrientes

Los resultados de las pruebas rápidas para la detección de compuestos fitoquímicos se resumen en la Tabla 3. *Y. elephantipes* mostró una mayor intensidad en las pruebas de cumarinas y de terpenoides, mientras que *Y. filifera* presentó una coloración más intensa en las pruebas de taninos. Una mayor intensidad en estas pruebas sugiere una mayor presencia de metabolitos en la muestra.

Los metabolitos seleccionados para la evaluación fitoquímica han demostrado tener un impacto positivo en la salud humana. Aunque los alcaloides se consideran compuestos tóxicos, se ha demostrado que tienen efectos beneficiosos para la salud, incluyendo propiedades antiinflamatorias y hepatoprotectoras. También contribuyen a la actividad del córtex prefrontal, del tálamo y del sistema visual, y desempeñan un papel importante en la inteligencia cognitiva (Debnath et al., 2018).

Las cumarinas, que forman parte de los compuestos fenólicos, tienen como principal aplicación actividades antioxidantes. Estos metabolitos han sido ampliamente utilizados en la industria farmacéutica por sus propiedades antiinflamatorias, anticoagulantes, antihipertensivas, anticonvulsivas, antimicrobianas y neuroprotectoras. Además, estos

compuestos pueden modificar las vías de señalización de diversos procesos celulares (Flores-Morales et al., 2023).

Tabla 3. Perfil fitoquímico de flores de palma.

Metabolito	<i>Yucca elephantipes</i>	<i>Yucca filifera</i>
Alcaloides	+	+
Cumarinas	++	+
Fenoles	+	+
Fitatos	+	+
Fitoesteroles	+	+
Glucósidos	-	-
Glucósidos cardíacos	+	+
Quinonas	+	+
Saponinas	+	+
Taninos	+	++
Terpenos	+	+
Triterpenoides	++	+

+: prueba positiva, ++: prueba positiva con mayor intensidad en el color, -: prueba negativa.

Los compuestos fenólicos han sido reconocidos por su actividad antioxidante, la cual se ha relacionado con la reducción de enfermedades causadas por el estrés oxidativo, como el cáncer, la diabetes y las enfermedades cardiovasculares. Asimismo, se ha demostrado que poseen propiedades antiinflamatorias, antimutagénicas e incluso efectos anticancerígenos (Valencia-Cordova et al., 2024).

A pesar de ser considerados antinutrientes debido a su impacto en la absorción de minerales, los fitatos han sido asociados con actividad antioxidante y anticancerígena, así como con la inhibición de la calcificación patológica en la sangre y en órganos (Tuncel et al., 2025).

Los fitoesteroles, compuestos derivados de matrices vegetales, han sido reconocidos por sus importantes beneficios, como la actividad antioxidante, antidiabética, antiaterosclerótica y cardioprotectora, y también se consideran agentes quimiopreventivos (Valencia-Cordova et al., 2024).

Los glucósidos cardíacos son metabolitos naturales que contienen azúcares y esteroides en su estructura. Inhiben y seleccionan compuestos del intercambiador Na⁺/K⁺ ATPasa y se han utilizado tradicionalmente en el tratamiento de afecciones cardíacas debido a su capacidad para mejorar la función contráctil del corazón (Olona et al., 2021).

Las quinonas han mostrado un amplio rango de aplicaciones en el desarrollo de fármacos, exhibiendo actividades cardioprotectoras, antidiabéticas, hepatoprotectoras, neuroprotectoras, anticancerígenas y efectos contra la malaria en estudios recientes (Patel et al., 2025).

Los terpenoides, como parte del perfil fitoquímico, son un grupo de metabolitos con diversas actividades, incluyendo neuroprotección, terapia antiinfecciosa y aplicaciones potenciales en el tratamiento del cáncer debido a su diversidad estructural (Valencia-Cordova et al., 2024).

Un grupo de saponinas, compuesto por un aglicón y uno o más azúcares, ha sido clasificado como antinutriente. A pesar de esta clasificación, estas sustancias se asocian con importantes actividades biológicas como propiedades antiinflamatorias, antibacterianas, antifúngicas, antiobesidad y antivirales. Investigaciones sugieren que estos compuestos podrían utilizarse como base para el desarrollo de fármacos con dichas actividades beneficiosas (Tuncel et al., 2025).

Otra categoría de compuestos son los compuestos orgánicos volátiles biogénicos, que incluyen terpenos, que se han encontrado con efectos positivos en enfermedades como la artritis, la neuroinflamación, la inflamación respiratoria y la dermatitis, debido a sus propiedades antiinflamatorias (Tuncel et al., 2025).

En el caso de los taninos, otro grupo de compuestos fenólicos, también se consideran antinutrientes, ya que pueden reducir la absorción de ciertos nutrientes, como fósforo, calcio, magnesio y hierro. Sin embargo, estudios demuestran que los taninos también poseen actividades antioxidantes debido a su alto contenido de anillos aromáticos y pueden inactivar virus. Asimismo, se cree que son beneficiosos para la salud cardiovascular cuando la precipitación es insuficiente.

2.3.3 Perfil de aminoácidos

El análisis tuvo como objetivo determinar si la proteína presente en las flores de yuca es de alto valor biológico mediante el estudio de su perfil de aminoácidos. Dado que las proteínas de origen vegetal se consideran una alternativa para el consumo de nutrientes debido a su menor costo y a su menor impacto en el cambio climático, las flores comestibles podrían constituir una fuente viable de proteínas (Pensamiento-Niño et al., 2023). Sin embargo, para que las fuentes proteicas alternativas sean consideradas un sustituto adecuado, deben tomarse en cuenta factores como la composición de aminoácidos, la proporción de aminoácidos esenciales y su susceptibilidad a la digestión.

Los aminoácidos esenciales como histidina (His), isoleucina (Ile), lisina (Lys), metionina (Met), fenilalanina (Phe), treonina (Thr), triptófano (Trp) y valina (Val) son fundamentales, ya que no pueden ser sintetizados por el organismo humano (Lara-Parra et al., 2025). La OMS/FAO/UNU (2007) indicó los requerimientos de cada uno de estos aminoácidos para adultos sanos, expresados en g/100 g de proteína: His 1.5, Ile 3.0, Leu 5.9, Lys 4.5, Thr 2.3, Trp 0.6 y Val 3.9.

En particular, las flores de yuca analizadas en esta investigación cumplen dichos requerimientos y aportan todos los aminoácidos esenciales, como se muestra en la Tabla 4. Sotelo y colaboradores (2007) realizaron un análisis de aminoácidos en flores comestibles mexicanas y encontraron que sus muestras, incluidas las de *Y. filifera*, presentaron similitudes en Asp, Leu, Tyr y Ala con los resultados obtenidos en este estudio.

Al comparar las dos variedades de flores de palma estudiadas, se observa que presentan tendencias muy similares, siendo el ácido glutámico (Glu) el aminoácido con mayor contenido en ambas. Estos resultados concuerdan con los hallazgos de (Sotelo et al., 2018), quienes reportaron al Glu como el aminoácido de mayor concentración en las flores de *Y. filifera*. Aunque el Glu no se clasifica como un aminoácido esencial, está presente en numerosos alimentos y desempeña un papel crucial en diversos tejidos, como el músculo y el hígado. Además, el Glu actúa como neurotransmisor por su función como precursor del ácido gamma-aminobutírico (GABA). También destaca por su contribución a la percepción

del sabor, ya que posee un gusto característico conocido como *umami*, lo que dio lugar al desarrollo del glutamato monosódico como aditivo alimentario (Garattini, 2000).

Tabla 4. Contenido de aminoácidos en flores comestibles de palma.

Aminoácido	<i>Y. elephantipes</i>		<i>Y. filifera</i>	
	mg/g de proteína	EAA score	mg/g de proteína	EAA score
Asp	8.455 ± 0.217 ^{aC}		7.545 ± 0.217 ^{aC}	
Glu	10.581 ± 0.029 ^{aA}		9.441 ± 0.026 ^{bA}	
Ser	3.878 ± 0.132 ^{aF}		3.461 ± 0.118 ^{aF}	
Gly	2.418 ± 0.101 ^{aHI}		2.158 ± 0.090 ^{aHI}	
Arg	3.904 ± 0.378 ^{aF}		3.483 ± 0.338 ^{aF}	
Ala	5.101 ± 0.053 ^{aE}		4.552 ± 0.047 ^{bE}	
Tyr	3.439 ± 0.029 ^{aFG}		3.069 ± 0.025 ^{bFG}	
EAA				
His	3.488 ± 0.008 ^{aFG}	232.53	3.112 ± 0.007 ^{bFG}	207.47
Thr	9.185 ± 0.680 ^{aBC}	399.35	8.196 ± 0.607 ^{aBC}	356.35
Met	2.102 ± 0.122 ^{aI}	131.38	1.876 ± 0.109 ^{aI}	117.25
Val	3.332 ± 0.129 ^{aFGH}	85.44	2.973 ± 0.115 ^{aFGH}	76.23
Phe	3.565 ± 0.045 ^{aFG}	93.82	3.181 ± 0.041 ^{bFG}	83.71
Ile	2.756 ± 0.218 ^{aGHI}	91.87	2.459 ± 0.194 ^{aGHI}	81.97
Leu	6.618 ± 0.329 ^{aD}	112.17	5.504 ± 0.293 ^{aD}	93.29
Lys	9.447 ± 0.053 ^{aB}	209.93	8.429 ± 0.047 ^{bB}	187.31
Trp	1.37 ± 0.07 ^{bJ}	228.33	1.64 ± 0.02 ^{aJ}	273.33

Asp: ácido aspártico, Glu: ácido glutámico, Ser: serina, His: histidina, Gly: glicina, Thr: treonina, Arg: arginina, Ala: alanina, Tyr: tirosina, Met: metionina, Val: valina, Phe: fenilalanina, Ile: isoleucina, Leu: leucina, Lys: lisina, Trp: triptófano. *Los resultados se expresan en gramos de aminoácidos por 100 g de proteína. Los datos se presentan como media ± desviación estándar. ^{a, b} indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en aminoácidos entre cada variedad. ^{A-I}: Indican diferencia significativa por aminoácido en una sola variedad de flor. Puntuación EEA: puntuación química de aminoácidos esenciales.

La lisina (Lys) es el segundo aminoácido de mayor contenido más elevado en la variedad *Y. filifera*, mientras que la treonina (Thr) es más prominente en la variedad *Y. elephantipes*. Tanto la Lys como la Thr son aminoácidos esenciales que desempeñan funciones importantes en el organismo. Por ejemplo, la Thr forma parte de la mucina gastrointestinal e influye en complejas redes de señalización, en particular en aquellas relacionadas con las quinasas activadas por mitógenos, la proliferación celular y la regulación de ciertas vías metabólicas (Lara-Parra et al., 2025).

El contenido de Lys en ambas variedades de flores de palma es notablemente alto, comparable al de otros alimentos como la leche, la soya, el pollo, los chícharos y el huevo, que son valorados por su aporte de aminoácidos esenciales (Lara-Parra et al., 2025).

Con base en los datos presentados, las flores de palma pueden considerarse una fuente valiosa de proteína vegetal. Es importante señalar que la lisina presenta limitaciones en la dieta, ya que se encuentra en cantidades muy reducidas en alimentos de consumo amplio como los cereales. Este aminoácido también desempeña un papel crucial en el mantenimiento del equilibrio nitrogenado del organismo (Matthews, 2020).

Otra observación relevante es que, al analizar cada aminoácido por variedad, *Y. elephantipes* presenta un mayor contenido de aminoácidos que *Y. filifera*. Esta diferencia podría deberse a variaciones en las condiciones de crecimiento. Por ejemplo, estudios indican que los cultivares de *Sesamum indicum* L. presentan una reducción en el contenido proteico cuando son sometidos a estrés hídrico (sequía) (Fazeli et al., 2007). En este contexto, las palmas de *Y. filifera* estudiadas crecen de manera silvestre en zonas propensas a la escasez constante de agua, a diferencia de las palmas de *Y. elephantipes*, que suelen encontrarse en regiones donde se cultivan junto con otros cultivos y requieren riego manual cuando la precipitación es insuficiente. Puede argumentarse que las condiciones de sequía que afectan a las palmas de *Y. filifera* impactan negativamente el aporte de aminoácidos en sus flores.

2.3.4 Perfil de ácidos grasos

La composición lipídica de las flores de palma estudiadas es baja, aunque, en general, presentan un menor aporte de lípidos que otros alimentos. El análisis del perfil de ácidos grasos (Tabla 6) permite identificar aquellos que pueden tener efectos benéficos para la salud.

Los resultados de esta investigación muestran que las flores de palma de *Y. elephantipes* contienen ácido palmítico (C16:0), ácido oleico (C18:1n-9), ácido linoleico (C18:2n-6) y ácido α -linolénico (C18:3n-3). En contraste, *Y. filifera* también contiene estos ácidos, además de ácido docosanoico (C22:0) y ácido eicosatrienoico (C20:3n-3). Aunque estas flores

presentan algunos ácidos grasos saturados (SFAs), es fundamental resaltar la presencia de ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs), los cuales pueden mitigar los efectos negativos asociados con los AGS.

Los ácidos grasos derivados de matrices vegetales tienen aplicaciones significativas en alimentos para mejorar su valor nutricional. Por ejemplo, un complejo que consiste en gelatina, ácido α -linolénico y aislado de proteína de sésamo (denominado GLS), extraído de semillas de sésamo, ha demostrado mejorar la vida útil de la mayonesa y aumentar su contenido de ácidos grasos insaturados (French et al., 2002).

Las dislipidemias se han relacionado con un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares y de otros problemas, como el daño oxidativo, la necrosis y la apoptosis en células humanas *in vitro* (Djuricic, 2021). Sin embargo, investigaciones indican que el consumo de ácido oleico en combinación con ácidos grasos poliinsaturados puede reducir posibles efectos negativos (Mostafavi et al., 2019).

En flores comestibles, la cantidad de SFAs es baja, incluyendo ácido esteárico (C18:0), ácido láurico (C12:0) y ácido mirístico (C14:0), los cuales pueden variar dependiendo de la variedad floral (Pires et al., 2026). Entre los ácidos grasos poliinsaturados más comunes se encuentran el ácido linoleico y el ácido α -linolénico, considerados esenciales debido a que el organismo humano no puede sintetizarlos.

El perfil de ácidos grasos de las flores de palma indica que *Y. elephantipes* principalmente aporta ácido linoleico, mientras que *Y. filifera* incluye dentro de su composición al ácido eicosatrienoico (C20:3n-3), un ácido graso omega-3. El ácido linoleico y el ácido α -linolénico, clasificados como ácidos grasos esenciales, así como los ácidos grasos omega-6 y omega-3, son reconocidos por su capacidad para reducir el riesgo y la gravedad de diversas enfermedades debido a sus propiedades antioxidantes y antiinflamatorias (Zhu et al., 2012).

Las diferencias en la composición de ácidos grasos entre las variedades de palma estudiadas pueden estar influidas por factores como el estrés hídrico y el clima en que se desarrollan.

La composición de ácidos grasos en plantas está relacionada con la tolerancia a la sequía (Mulík et al., 2020). Para hacer frente a la escasez de agua, las plantas cierran sus estomas,

lo que inhibe la captación de CO₂ para la fotosíntesis y conduce a una dependencia de los ácidos grasos como fuente de carbono. En consecuencia, el contenido de ácidos grasos en las plantas puede variar según las condiciones de estrés.

Investigaciones indican que la proporción de ácido oleico respecto al ácido linoleico aumenta a temperaturas más elevadas durante la maduración de las semillas, en comparación con condiciones más frías (Slavin, 2013). Este fenómeno puede explicar el mayor contenido de ácidos grasos observado en *Y. filifera*, especie que prospera a temperaturas más altas. Asimismo, los niveles de ácido oleico y ácido palmítico aumentan cuando las plantas experimentan estrés hídrico, lo que explica el mayor contenido de ácidos grasos saturados en *Y. filifera* cuando la disponibilidad de agua es reducida.

2.3.5 Metales pesados

La seguridad de estas flores para el consumo humano se evaluó mediante el análisis de metales pesados en las flores de palma. Los niveles de As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg y Mn en ambas muestras (*Y. elephantipes* y *Y. filifera*) se encontraron por debajo de los límites establecidos (<LOD), donde <LOD corresponde a 0.90, 0.40, 0.59, 0.48, 0.46, 0.55 y 0.46 µg/g, respectivamente. Estos resultados concuerdan con un estudio realizado por Zhu y colaboradores (2012), quienes reportaron que el contenido de metales pesados en flores comestibles utilizadas en la cocina y la medicina tradicional china no representa un riesgo potencial para los consumidores, incluso a niveles no detectables mediante análisis.

La ingesta continua de metales pesados, aunque en niveles bajos, representa un riesgo significativo para la salud. Cuando se exceden los límites de seguridad, los metales pesados pueden afectar de manera adversa órganos vitales como los riñones, el hígado, los huesos y la composición sanguínea, lo que puede conducir a trastornos de salud como insuficiencia renal, alteraciones neurológicas, problemas cardiovasculares, convulsiones, parálisis y trastornos gastrointestinales. La gravedad de estos efectos depende de la naturaleza del metal, ya sea crónica o aguda, así como de la duración de la exposición.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) ha establecido los siguientes límites para la ingesta diaria de metales pesados con el fin de garantizar la

seguridad: cadmio 0.001 mg/kg/día, cobre 0.04 mg/kg/día y plomo 0.04 mg/kg/día. Desde 1984, el *Codex Alimentarius Commission* ha establecido límites máximos (mg/kg⁻¹) para cobre, plomo, mercurio y cadmio de 40, 5, 5 y 0.3, respectivamente (FAO,1995).

Con base en el análisis de las flores de palma se ha determinado que los niveles de metales pesados en estas flores se encuentran por debajo de las cantidades que podrían representar un riesgo para la salud de los consumidores. De acuerdo con Zhu y colaboradores (2012) las flores de palma no representan un riesgo para la salud en términos de la contribución de metales pesados.

2.3.6 Evaluación de los cambios nutrimentales después de los procesos de cocción

La Tabla 5 muestra los resultados del análisis proximal de dos variedades de flores de palma. En general, los componentes predominantes en las flores fueron los carbohidratos (55.88–58.86 %) y la fibra dietética total (23.27–58.86 %). Al comparar las variedades en función de los nutrientes, la única diferencia notable se observó en el contenido de grasa, siendo *Y. elephantipes* la especie con un contenido significativamente mayor (3.68 %).

Al comparar estos resultados con los reportados por Sotelo et al. (2007), los únicos valores similares corresponden al contenido de grasa, con 2.1 %. Las diferencias en la composición química pueden atribuirse a la variación de las condiciones climáticas en las que se desarrolla la planta, a la edad del ejemplar y a la temporada de recolección (Pensamiento-Niño et al., 2023).

En relación con los métodos de cocción, se observó que estos pueden afectar el contenido nutricional de los alimentos. Cuando las flores fueron cocidas, se registró un incremento en el contenido de proteínas y de fibra dietética. Este aumento puede deberse a cambios en los enlaces glucosídicos, que pueden romperse durante el proceso de cocción. Dado que los polisacáridos forman parte de la fibra dietética, pueden sufrir procesos de despolimerización y formar complejos proteína-fibra, lo que puede resultar en un incremento o disminución de ciertos compuestos (Slavin, 2013).

Tabla 5. Composición nutricional de flores de palma.

Muestra	% Cenizas	% Lípidos	% Proteína	% FDT	% CHO*
<i>Y. elephantipes</i>					
Cruda	5.23±0.11 ^{aCD}	3.68±0.14 ^{cD}	11.94±0.38 ^{dBD}	18.31±3.03 ^{cB}	61.85±4.8 ^{aA}
Asada	4.72±0.13 ^{bD}	9.85±0.70 ^{bD}	12.91±0.31 ^{dC}	28.78±0.58 ^{bB}	48.05±0.23 ^{bA}
Hervida	3.34±0.02 ^{cE}	5.50±0.69 ^{aD}	21.11±0.78 ^{aC}	37.60±0.31 ^{aA}	28.09±1.28 ^{cB}
<i>Y. filifera</i>					
Cruda	5.28±0.07 ^{aCD}	3.13±0.07 ^{cD}	12.39±0.15 ^{dBC}	19.07±4.72 ^{cB}	60.14±4.9 ^{aA}
Asada	5.30±0.09 ^{aD}	3.76±0.18 ^{cE}	14.66±0.13 ^{cC}	19.72±0.06 ^{cB}	56.55±0.4 ^{aA}
Hervida	3.40±0.02 ^{cE}	5.66±0.45 ^{bD}	17.87±0.17 ^{bC}	40.17±0.45 ^{aA}	32.90±0.56 ^{cB}

FDT: Fibra dietética total. Resultados expresados en base seca. *Porcentaje calculado por diferencia. Letras diferentes entre filas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). ^{a-d}: Indican una diferencia significativa entre todas las muestras por componente nutricional (ANOVA de una vía y prueba de Tukey post-hoc). ^{A-E}: Indican diferencias significativas en la misma muestra entre todos los componentes nutricionales (ANOVA y prueba de Tukey post-hoc).

Por otro lado, el contenido de carbohidratos disminuye significativamente durante el proceso de ebullición. Esta disminución puede explicarse porque ciertos compuestos de bajo peso molecular, como monosacáridos, disacáridos u oligosacáridos, pueden transferirse al agua de cocción. Como resultado, el contenido de carbohidratos del alimento disminuye en la matriz alimentaria (Ramírez-Moreno et al., 2012).

Un componente de gran importancia en las flores de palma es la fibra dietética total. De acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), los adultos sanos deben consumir aproximadamente 38 g de fibra por día en hombres y 25 g en mujeres (Castañeda-Rodríguez et al., 2024). En el caso de las flores hervidas (*Y. elephantipes* y *Y. filifera*), 100 g de muestra pueden aportar la ingesta diaria recomendada tanto para hombres como para mujeres. Uno de los efectos fisiológicos más relevantes de la fibra dietética, en particular la fibra soluble, es su capacidad para reducir la absorción de lípidos, lo que puede tener un impacto positivo en los niveles de triglicéridos en sangre (Wang et al., 2022). Además, se ha demostrado que ciertos polisacáridos derivados de fuentes vegetales actúan como inmunoestimulantes eficaces (Gong et al., 2024).

Existen pocos estudios que destaquen los cambios nutricionales en las flores debido a los procesos de cocción, y los resultados reportados han sido variados e incluso contradictorios.

Algunas investigaciones han indicado una disminución del contenido proteico en las flores de *Yucca* spp. cuando son sometidas a ebullición (Castañeda-Rodríguez et al., 2024).

En contraste, en hojas de *Hibiscus surattensis*, los procesos de hervido, salteado y cocción por microondas mejoraron el contenido proteico, lo cual se ha atribuido a la ruptura de enlaces peptídicos en las proteínas (Moorthy et al., 2018). En el presente estudio, se observó un aumento en el contenido de proteína tanto en los tratamientos de ebullición como en los de asado, en ambas variedades florales. Estas diferencias en el contenido proteico pueden deberse a las características morfológicas de las flores de yuca analizadas, en particular a la resistencia del tejido, lo que podría haber incrementado el contenido proteico aparente.

Otra razón del aumento del porcentaje de proteína y de fibra dietética en los tratamientos de ebullición y asado (Tabla 5) es la interacción de los componentes de la flor de yuca con el agua, lo que favorece el incremento relativo de estos nutrientes. Por ejemplo, durante el asado se pierde agua, lo que conduce a un ligero aumento del porcentaje de estos nutrientes en base a materia seca. El porcentaje de fibra dietética es mayor en *Y. filifera* asada en comparación con *Y. filifera* cruda. Este marcado incremento en *Y. filifera* puede atribuirse a los tipos específicos de componentes de fibra dietética presentes en esta variedad, como la distribución de celulosa y hemicelulosa.

Los cambios en los porcentajes de proteína y fibra dietética observados en el tratamiento de ebullición pueden deberse a la pérdida de componentes solubles en agua, que no son necesariamente nutrientes, en ambas variedades de flores de yuca. Esto significa que los compuestos hidrosolubles se eliminan durante la ebullición, lo que da como resultado un menor contenido de materia seca una vez eliminada el agua (base de materia seca) y un incremento en el porcentaje de proteína y de fibra insoluble en las dos variedades de flores de yuca.

Es importante aclarar que los cambios observados en los porcentajes de proteína y de fibra dietética no se deben a mecanismos bioquímicos, ya que cualquier enzima que pudiera estar involucrada se inactiva durante el procesamiento térmico.

Para obtener una comprensión más clara de la relación entre las variables, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para cada variedad floral (Figura 3). Los resultados revelaron que ambas variedades presentaron patrones similares. En el caso de *Y. elephantipes*, los componentes principales 1 y 2 explicaron el 98.7 % de la variabilidad total, mientras que para *Y. filifera* estos componentes explicaron el 98.5 % de la variabilidad. Cabe destacar que la fibra, la grasa y la proteína fueron los principales contribuyentes al componente principal 1 (CP1), mientras que los carbohidratos y las cenizas se asociaron con el componente principal 2 (CP2). Esto indica que las flores de palma con mayores concentraciones de fibra, grasa y proteína presentan niveles proporcionalmente más bajos de carbohidratos y cenizas.

Al considerar los efectos de la cocción sobre los perfiles nutricionales, parece que la ebullición es un método más adecuado que el asado, ya que tanto el contenido de proteína como el de fibra dietética total aumentaron. No obstante, es fundamental seguir las condiciones específicas establecidas en este estudio para mantener dichos beneficios.

Adicionalmente, debido a que se encontró una mayor cantidad de ácidos grasos en la variedad *Y. filifera* (Tabla 6), se analizó su comportamiento durante los tratamientos de cocción. Se observó que los ácidos grasos C16:0, C18:1n-9c, C18:2n-6c y C20:0 se conservaron tanto antes como después de los tratamientos de asado y ebullición. Sin embargo, las muestras sometidas a procesamiento térmico (tanto hervidas como asadas) no mostraron la presencia de los ácidos grasos C22:0 y C23:3n-3.

Los métodos de cocción comunes, como el tratamiento térmico, pueden hacer que los ácidos grasos sean susceptibles a cambios debido al aumento de temperatura, la exposición al oxígeno y la humedad, lo que puede conducir a la oxidación y a la formación de productos de oxidación lipídica, como el malondialdehído y diversos aldehídos (Zhuang et al., 2022). Por lo tanto, es probable que los ácidos grasos no detectados tras el tratamiento térmico hayan sufrido procesos de oxidación.

Tabla 6. Ácidos grasos en dos variedades de flores comestibles de yuca.

Ácido graso	Muestra			
	<i>Y. elephantipes</i> (cruda)	<i>Y. filifera</i> (cruda)	<i>Y. filifera</i> (hervida)	<i>Y. filifera</i> (asada)
C16:0	236.3±30.5 ^A	96.48±12.3 ^{Bb}	509.5±10.6 ^a	118.8±3.6 ^b
C18:1n9c	397.9±10.8 ^A	321.5±15.0 ^{Bb}	472.8±29.5 ^a	261.1±24.4 ^b
C18:2n6c	345.3±31.0 ^A	135.7±23.6 ^{Bc}	376.5±17.6 ^b	467.4±12.9 ^a
C20:0	159.8±19.7 ^A	51.9±6.5 ^{Bb}	326.9±57.4 ^a	98.9±0.7 ^b
C22:0	ND	136.1±4.7	ND	ND
C20:3n3	ND	876.9±67.6	ND	ND

Los resultados se expresan en mg/100 g de muestra seca y como media ± desviación estándar. ^{A-B}: Letras diferentes indican una diferencia significativa en las muestras según el ácido graso en las muestras crudas. ^{a-}
^b: Letras diferentes indican diferencias significativas en *Y. filifera* según el ácido graso de los tratamientos de cocción. La prueba fue una comparación de Tukey. ND: No se detectaron ácidos grasos.

Estudios previos han reportado que en aceites comestibles de origen vegetal, como los de soya, palma y oliva, así como en grasas animales, los productos de oxidación lipídica aumentan significativamente a altas temperaturas (100–200°C). Esto sugiere que las temperaturas de cocción deben mantenerse bajas para minimizar la formación de estos compuestos (Zhuang et al., 2022). En este contexto, los tratamientos de cocción empleados para estas flores fueron considerados adecuados, ya que las temperaturas de fritura se mantuvieron por debajo de los 100°C, lo que contribuye a reducir la oxidación lipídica y la formación de productos de oxidación lipídica. Además, es importante destacar que los ácidos grasos con mayor contenido (C16:0, C18:1n-9c, C18:2n-6c y C20:0) se mantuvieron intactos tras los procesos de cocción empleados en este estudio.

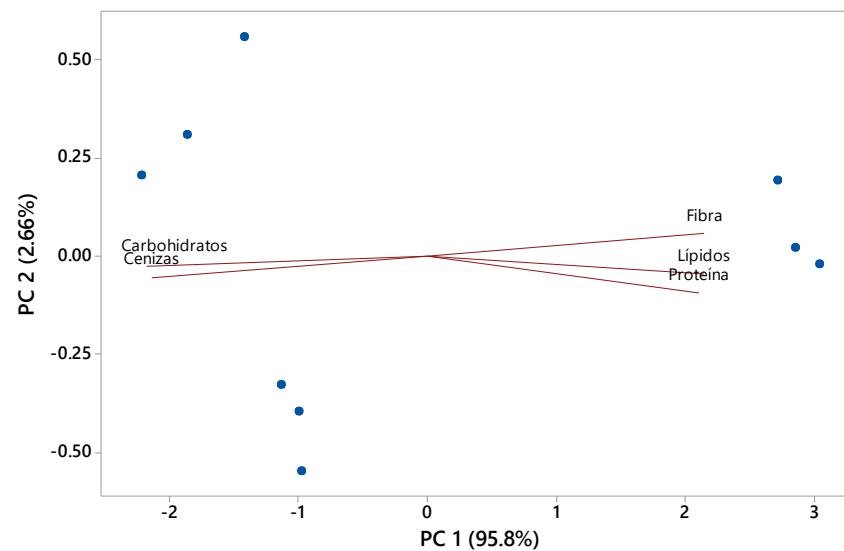
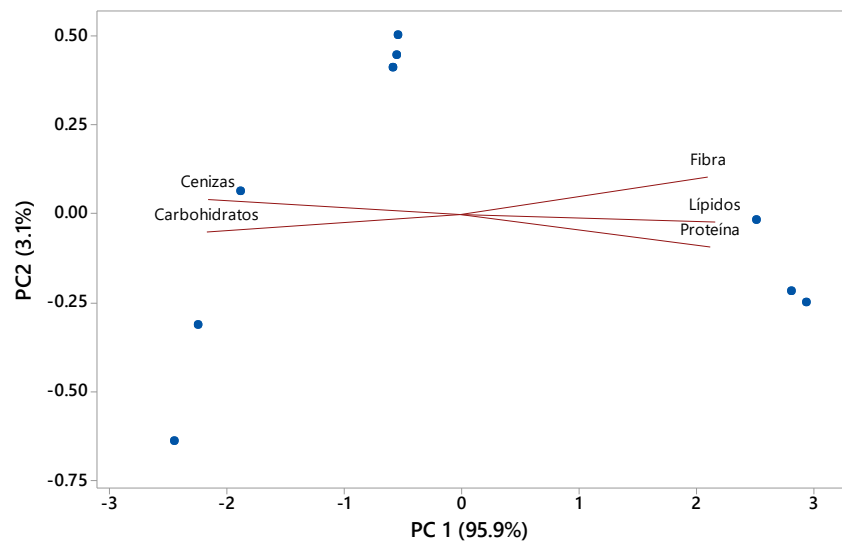


Figura 3. Análisis de componentes principales ilustra la correlación entre los nutrientes y los procesos de cocción a) *Yucca filifera* b) *Yucca elephantipes*.

2.4 Conclusiones

Las flores de palma de *Y. filifera* y *Y. elephantipes* presentan perfiles fitoquímicos similares, que contienen diversos compuestos como alcaloides, cumarinas, fenoles, fitatos, fitoesteroles, glucósidos cardíacos, quinonas, saponinas, taninos, terpenos y compuestos triterpenoides. Ambas variedades son ricas en proteínas de alta calidad y aportan todos los aminoácidos esenciales. Además, estas flores comestibles contienen principalmente ácidos grasos palmítico, oleico y linoleico.

El consumo de flores de palma se considera seguro, ya que los niveles de metales pesados no representan un riesgo para los consumidores. Desde el punto de vista nutricional, estas flores son una buena fuente de carbohidratos, fibra y proteína. La ebullición es el método de cocción más eficaz, ya que incrementa tanto el contenido de proteínas como el de fibra. En resumen, las flores de palma son una valiosa fuente de nutrientes y compuestos bioactivos que pueden promover la salud. Pueden utilizarse en la producción de suplementos dietéticos o incorporarse a platillos a base de vegetales.

Referencias

- Almeida, A., Dong, L., Appendino, G., & Bak, S. (2020). Plant triterpenoids with bond-missing skeletons: biogenesis, distribution and bioactivity. *Natural Product Reports*, 37(9), 1207-1228. <https://doi.org/10.1039/c9np00030e>
- Attia, Y. A., Al-Harhi, M. A., Korish, M. A., & Shiboob, M. H. (2020). Protein and Amino Acid Content in Four Brands of Commercial Table Eggs in Retail Markets in Relation to Human Requirements. *Animals*, 10(3), 406. <https://doi.org/10.3390/ani10030406>
- Añorve-Morga, J., Castañeda-Ovando, A., Cepeda, A., Durant-Archibold, A. A., Jaimez-Ordaz, J., Contreras-López, E., González-Olivares, L. G., & Rodríguez-Rodríguez, J. L. (2015). Microextraction method of medium and long chain fatty acids from milk. *Food Chemistry*, 172, 456-461. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.048> }
- AOAC, Official Methods of Analysis of the Association of Analytical Chemists. (2005). 18° ed., Gaithers-Burg Maryland: AOAC, Volume 1.

- Ayala-Hernández, M. M., Ríos-Gómez, R., Solano, E., & García-Mendoza, A. (2022). *Yucca muscipula* (Asparagaceae, Agavoideae), a new species from central Mexico. *Phytotaxa*, 543(2), 103-112. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.543.2.1>
- Barnaby, A. G. (2016). Antioxidant Activity, Total Phenolics and Fatty Acid Profile of *Delonix regia*, *Cassia fistula*, *Spathodea campanulata*, *Senna siamea* and *Tibouchina granulosa*. *Journal of Analytical & Pharmaceutical Research*, 3(3). <https://doi.org/10.15406/japlr.2016.03.00056>
- Bressani, R. (1993). Grain quality of common beans. *Food Reviews International*, 9(2), 237–297. <https://doi.org/10.1080/87559129309540960>
- Carvalho, I., Teixeira, M., & Brodelius, M. (2010). Fatty acids profile of selected *Artemisia* spp. plants: Health promotion. *LWT*, 44(1), 293–298. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.033>
- Debnath, B., Singh, W. S., Das, M. L., Goswami, S., Singh, M., Maiti, D., & Manna, K. (2018). Role of plant alkaloids on human health: A review of biological activities. *Materials Today Chemistry*, 9, 56-72. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2018.05.001>
- Djuricic, I., & Calder, P. C. (2021). Beneficial Outcomes of Omega-6 and Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids on Human Health: An Update for 2021. *Nutrients*, 13(7), 2421. <https://doi.org/10.3390/nu13072421>
- Evans, W. C. (2002). *Trease and Evans Pharmacognosy*, 15th edition. W.B. Saunders Company Ltd, London. pp 137-139,230-240.
- Flores-Morales, V., Villasana-Ruiz, A. P., Garza-Veloz, I., González-Delgado, S., & Martínez-Fierro, M. L. (2023). Therapeutic Effects of Coumarins with Different Substitution Patterns. *Molecules*, 28(5), 2413. <https://doi.org/10.3390/molecules28052413>
- Fresán, U., Mejía, M. A., Craig, W. J., Jaceldo-Siegl, K., & Sabaté, J. (2019). Meat analogs from different protein sources: A comparison of their sustainability and nutritional content. *Sustainability*, 11(12), 3231. <https://doi.org/10.3390/su11123231>

- French, M. A., Sundram, K., & Clandinin, M. T. (2002). Cholesterolaemic effect of palmitic acid in relation to other dietary fatty acids. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 11, S401–S407. <https://doi.org/10.1046/j.1440-6047.11.s.7.3.x>
- Halder, S., & Khaled, K. L. (2021). Anti-nutritional profiling from the edible flowers of *Allium cepa*, *Cucurbita maxima* and *Carica papaya* and its comparison with other commonly consumed flowers. *International Journal of Herbal Medicine*, 9(6), 55–61. <https://doi.org/10.22271/flora.2021.v9.i6a.784>
- Jakubczyk, K., Koprowska, K., Gottschling, A. and Janda-Milczarek, K. 2022. Edible Flowers as a Source of Dietary Fibre (Total, Insoluble and Soluble) as a Potential Athlete's Dietary Supplement. *Nutrients*, 14(12), 2470. doi: <https://doi.org/10.3390/nu14122470>
- Juárez-Trujillo, N., Monribot-Villanueva, J. L., Jiménez-Fernández, M., Suárez-Montaño, R., Aguilar-Colorado, Á. S., Guerrero-Analco, J. A., & Jiménez, M. (2018b). Phytochemical characterization of Izote (*Yucca elephantipes*) flowers. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 91, 202-210. <https://doi.org/10.5073/jabfq.2018.091.027>
- Kim, T., Song, B., Cho, K. S., & Lee, I. S. (2020). Therapeutic potential of volatile terpenes and terpenoids from forests for inflammatory diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(6), 2187. <https://doi.org/10.3390/ijms21062187>
- Koilpillai, R. D. A. J. (2012). Phytochemical screening studies of bioactive compounds of *tagetes erecta*. *International Journal of Pharma and Biosciences*. <http://www.ijpbs.net/vol-3/issue-4/Bio/66.pdf>
- Kumar, N., & Goel, N. (2019). Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnology Reports*, 24, e00370. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00370>
- Kudęłka, W., Kowalska, M., & Popis, M. (2021). Quality of Soybean Products in Terms of Essential Amino Acids Composition. *Molecules*, 26(16), 5071. <https://doi.org/10.3390/molecules26165071>

- Navarro-González, I., González-Barrio, R., García-Valverde, V., Bautista-Ortín, A., & Periago, M. (2014). Nutritional Composition and Antioxidant Capacity in Edible Flowers: Characterisation of Phenolic Compounds by HPLC-DAD-ESI/MSn. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(1), 805-822. <https://doi.org/10.3390/ijms16010805>
- Matthews, D. E. (2020). Review of Lysine Metabolism with a Focus on Humans. *The Journal of Nutrition*, 150, 2548S-2555S. <https://doi.org/10.1093/jn/nxaa224>
- Mostafavi, S., Asadi-Gharneh, H. A., & Miransari, M. (2018). The phytochemical variability of fatty acids in basil seeds (*Ocimum basilicum* L.) affected by genotype and geographical differences. *Food Chemistry*, 276, 700–706. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.027>
- Nazari, M., Mirlohi, A., & Majidi, M. M. (2017). Effects of drought stress on oil characteristics of carthamus species. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 94(2), 247–256. <https://doi.org/10.1007/s11746-016-2938-y>
- Olona, A., Hateley, C., Guerrero, A., Ko, J., Johnson, M. K., Anand, P. K., Thomas, D., Gil, J., & Behmoaras, J. (2021). Cardiac glycosides cause cytotoxicity in human macrophages and ameliorate white adipose tissue homeostasis. *British Journal of Pharmacology*, 179(9), 1874-1886. <https://doi.org/10.1111/bph.15423>
- World Health Organization. 2007 Cobre. Disponible en: [OMS | JECFA \(who.int\)](https://www.who.int/health-topics/copper) World Health Organization. <https://www.who.int/health-topics/copper>
- World Health Organization. (2007) “Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation.” <https://iris.who.int/handle/10665/43411>
- Patel, O. P. S., Beteck, R. M., & Legoabe, L. J. (2021). Antimalarial application of quinones: A recent update. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 210, 113084. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.113084>

- Pinedo-Espinoza, J. M., Gutiérrez-Tlahque, J., Santiago-Saenz, Y. O., Aguirre-Mancilla, C. L., Reyes-Fuentes, M., & López-Palestina, C. U. (2020). Nutritional composition, bioactive compounds and antioxidant activity of wild edible flowers consumed in semiarid regions of Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75(3), 413-419. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00822-2>
- Pires, S. M. G., Reis, R. S., Cardoso, S. M., Pezzani, R., Paredes-Osses, E., Seilkhan, A., Ydyrys, A., Martorell, M., Gürer, E. S., Setzer, W. N., Razis, A. F. A., Modu, B., Calina, D., & Sharifi-Rad, J. (2023). Phytates as a natural source for health promotion: A critical evaluation of clinical trials. *Frontiers in Chemistry*, 11. <https://doi.org/10.3389/fchem.2023.1174109>
- Pires, T. C. P., Barros, L., Santos-Buelga, C. and Ferreira, I. C. 2019. Edible flowers: Emerging components in the diet. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 244–258. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.020>
- Pires, T.C.S.P.; Dias, M.I.; Barros, L.; Ferreira, I.C.F.R (2017). Nutritional and chemical characterization of edible petals and corresponding infusions: Valorization as new food ingredients. *Food Chemistry*, 220, 337–343. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.026>
- Ramírez D. S. & García-Vieyra M. I. (2017) Perfil fitoquímico de compuestos bioactivos y determinación de la capacidad antioxidante de plantas medicinales. *Jóvenes en la Ciencia*, 3(2), 27-32.
- Rani, S. (2022). The role of high fiber diet in the management of Type 2 diabetes: A review on Dietetic perspective. *International Journal of Bioinformatics and Biological Sciences*, 10(1). <https://doi.org/10.30954/2319-5169.1.2022.3>
- Ricchi, M., Odoardi, M. R., Carulli, L., Anzivino, C., Ballestri, S., Pinetti, A., Fantoni, L. I., Marra, F., Bertolotti, M., Banni, S., Lonardo, A., Carulli, N., & Loria, P. (2009). Differential effect of oleic and palmitic acid on lipid accumulation and apoptosis in cultured hepatocytes. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 24(5), 830–840. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1746.2008.05733.x>

- Sánchez-Machado, D. I., Núñez-Gastélum, J. A., Reyes-Moreno, C., Ramírez-Wong, B., & López-Cervantes, J. (2010). Nutritional Quality of Edible Parts of *Moringa oleifera*. *Food Analytical Methods*, 3(3), 175–180. <https://doi.org/10.1007/s12161-009-9106-z>
- Salehi, B., Quispe, C., Sharifi-Rad, J., Martins, N., Nigam, M., Mishra, A. P., Konovalov, D. A., Orobinskaya, V., Abu-Reidah, I. M., Zam, W., Sharopov, F., Venneri, T., Capasso, R., Kukula-Koch, W., Wawruszak, A., & Koch, W. (2021). Phytosterols: From Preclinical Evidence to Potential Clinical Applications. *Frontiers in Pharmacology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.599959>
- Sharma, K., Kumar, V., Kaur, J., Tanwar, B., Goyal, A., Sharma, R., Gat, Y., & Kumar, A. (2019). Health Effects, Sources, Utilization and Safety of tannins: A Critical review. *Toxin Reviews*, 40(4), 432-444. <https://doi.org/10.1080/15569543.2019.1662813>
- Sotelo, A., López-García, S., & Basurto-Peña, F. (2007). Content of nutrient and antinutrient in edible flowers of wild plants in Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62(3), 133-138.
- Ukiya, M., Akihisa, T., Yasukawa, K., Kasahara, Y., Kimura, Y., Koike, K., Nikaido, T., & Takido, M. (2001b). Constituents of Compositae Plants. 2. Triterpene Diols, Triols, and Their 3-O-Fatty Acid Esters from Edible *Chrysanthemum* Flower Extract and Their Anti-inflammatory Effects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(7), 3187-3197. <https://doi.org/10.1021/jf010164e>
- Tang, Q., Tan, P., Ma, N., & Ma, X. (2021). Physiological Functions of Threonine in Animals: Beyond Nutrition Metabolism. *Nutrients*, 13(8), 2592. <https://doi.org/10.3390/nu13082592>
- Timilsena, Y. P., Phosanam, A., & Stockmann, R. (2023). Perspectives on Saponins: Food Functionality and Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(17), 13538. <https://doi.org/10.3390/ijms241713538>
- Vázquez-Ortiz, F. A., Caire, G., Higuera-Ciapara, I., & Hernández, G. (1995). High performance liquid chromatographic determination of free amino acids in shrimp.

Journal of Liquid Chromatography, 18(10), 2059–2068.
<https://doi.org/10.1080/10826079508013960>

Velavan, S. (2015). Phytochemical techniques-a review. *World Journal of Science and Research*, 1(2), 80-91.
<https://www.harmanpublications.com/images/issues/PHYTOCHEMICALS-Journal-ok.pdf>

Zhu, F., Wang, X., Fan, W., Qu, L., Qiao, M., & Yao, S. (2012). Assessment of potential health risk for arsenic and heavy metals in some herbal flowers and their infusions consumed in China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(5), 3909-3916.
<https://doi.org/10.1007/s10661-012-2839-y>

Wu, Q., He, J., Srivastava, A. K., Zou, Y., & Kuča, K. (2019). Mycorrhizas enhance drought tolerance of citrus by altering root fatty acid compositions and their saturation levels. *Tree Physiology*, 39(7), 1149-1158. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpz039>

Capítulo 3: Optimización de extracciones de metabolitos presentes en flores de palma asistidas por microondas y ultrasonido

Resumen

Las flores comestibles se consideran alimentos importantes por el aporte de fitoquímicos que pueden tener efectos benéficos a la salud. Entre ellas se encuentran las flores de palma (*Yucca ssp.*), que se caracterizan por tener componentes de importancia nutricional; no obstante, se ha reportado que contienen inhibidores de tripsina y saponinas, que son metabolitos no nutricionales. Debido a que la flor de palma se puede considerar una fuente de compuestos benéficos para la salud, el objetivo del presente capítulo fue obtener tres extractos de dos variedades de flor de palma mediante técnicas asistidas por ultrasonido y microondas para determinar el contenido de metabolitos. Para ello, se plantearon tres diseños de experimentos tipo Box-Behnken (DBB) para obtener las mejores condiciones de extracción de compuestos de la flor de palma utilizando agua, etanol y diclorometano como solventes. Las extracciones realizadas se asistieron por ultrasonido y microondas. Los factores de control fueron: tiempo de extracción (ultrasonido [US] y microondas [MW]), temperatura de extracción y cantidad de materia sólida (flor de palma liofilizada), cada uno en tres niveles diferentes. El contenido de fenoles totales, terpenos y fitoesteroles se consideró como factor de respuesta y se determinó mediante métodos espectrofotométricos. Una vez que se obtuvieron las condiciones óptimas de extracción, se evaluaron pruebas de capacidad antioxidante (ORAC, DPPH, FRAP, radical hidroxilo y anión superóxido). De las tres extracciones realizadas, en las obtenidas con agua no se detectaron los fitoesteroles. Posteriormente, se realizó el análisis estadístico de los modelos, obteniendo en los tres casos valores de $R^2 > 85\%$, lo que permitió lograr las condiciones óptimas de cada uno de los extractos. Un factor negativo en la eficiencia de extracción de los compuestos de interés fue el tiempo de extracción, esto se puede deber a que al incrementar el tiempo de calentamiento se favorecen también reacciones de degradación de algunos componentes de las flores. Además, se detectó capacidad antioxidante en los extractos acuosos (ORAC y FRAP). En conclusión, las flores de palma son fuentes importantes de metabolitos.

Palabras clave: flor de palma, metabolitos, extracciones asistidas, optimización, Box-Behnken.

3.1 Introducción

El consumo de las flores comestibles se ha reportado en distintas culturas en el mundo, se han empleado como ingredientes en algunos platillos pertenecientes a la cocina tradicional y también son empleadas en las prácticas de la medicina tradicional, o incluso como tendencia adornando platillos de la alta cocina. Sin embargo, debido a su valor nutricional y la presencia de compuestos con interés científico, distintas investigaciones han desarrollado proyectos que han explorado las propiedades, aplicaciones farmacológicas, composición química, y basado en ello, los métodos distintos para la extracción de estos componentes (Takahasi et al., 2020).

Comúnmente se realizan las extracciones convencionales usando disolventes orgánicos; sin embargo, estas requieren de tiempos largos debido a que las estructuras naturales de los tejidos de las plantas son resistentes a la penetración de los solventes o líquidos de extracción. Debido a esto, se han empleado numerosas tecnologías de extracción para mejorar los procesos, como extracciones asistidas como ultrasonido, microondas e incluso con fluidos supercríticos (Zhao et al., 2019).

La extracción asistida por microondas es un proceso en el cual se emplea la energía de las microondas para calentar rápidamente los disolventes que se encuentran en contacto con una muestra, para separar los analitos de la muestra y verterlos en el disolvente. En esta técnica, la generación del calentamiento interno es mediante la interacción de los campos eléctricos que generan una mayor permeabilidad en la materia de extracción y estos fenómenos reducen drásticamente los tiempos de días y horas a minutos y segundos (Leonelli y Mason, 2010).

Por otro lado, la extracción asistida por ultrasonido provoca la formación y colapso instantáneo de burbujas de cavitación y generación instantánea de alta presión y temperatura, por lo que el proceso de destrucción de la pared celular es acelerado y se acorta el tiempo de extracción (Wen et al., 2018).

Aun empleando estas técnicas asistidas para mejorar las extracciones, se pueden ver afectadas por varios factores, como la polaridad del disolvente, temperatura a la que se

realiza la extracción, la relación entre el sólido y el disolvente, el tamaño al que se encuentran las partículas, el tiempo y la potencia (Gil-Martín et al., 2022). Debido a ello, se ha empleado la optimización como técnica matemática y estadística para la obtención de compuestos bioactivos en una extracción eficaz (Reche et al., 2021).

Las extracciones asistidas con US de metabolitos de flores comestibles han sido previamente reportadas. Yang y colaboradores (2010) reportaron la optimización de la extracción asistida con US de flavonoides contenidos en la flor *Citrus aurantium* L. var. *Amara* Engl. Esta técnica también ha sido reportada para la optimización del extracto de flor *Limonium sinuatum* para obtener compuestos antioxidantes (Xu et al., 2017).

Actualmente, se ha preferido emplear extracciones combinando las técnicas asistidas por ultrasonido y microondas, debido a que suelen incrementar los rendimientos de las extracciones. Esta estrategia fue utilizada por Zhang y colaboradores (2021) para la optimización de la obtención de aceite esencial de flores de cerezo (Zhang *et al.*, 2021). Por lo que, el objetivo del presente capítulo fue obtener tres extractos (acuoso, etanólico y diclorometánico) de dos variedades de flor de palma mediante la optimización de técnicas asistidas (por ultrasonido y microondas) para determinar el contenido de metabolitos.

3.2 Metodología

3.2.1 Diseño de experimentos para la extracción de metabolitos

3.2.1.1 Condiciones generales

La optimización de las condiciones de extracción se realizó en las dos variedades de flor de palma (*Y. filifera* y *Y. elephantipes*) y utilizando agua, etanol y diclorometano como disolventes. Para ello, se propusieron diseños de experimentos tipo Box-Behnken (BBD) considerando tres factores de control: cantidad de muestra, tiempo de extracción en US y temperatura de extracción en MW, cada factor con tres niveles (Tabla 7). En todos los casos, el factor fijado fue el volumen de solvente (15 mL).

Los solventes utilizados fueron agua, metanol y diclorometano. La muestra fue flor liofilizada, la cual se preparó según la metodología descrita en la sección 2.2.3.1. La extracción asistida por ultrasonido se realizó en un baño de ultrasonido (Branson, 2510),

mientras que la extracción por microondas se realizó en un Microwave extractor reactor MAS 24 (Anton Paar).

Tras los procesos de extracción y evaluación de los factores de respuesta, se obtuvieron los análisis estadísticos, las superficies de respuesta y los modelos polinomiales para optimizar las condiciones de extracción en cada caso.

Los extractos se obtuvieron mediante la metodología reportada por Wang et al. (2016), con modificaciones, basada en una extracción sólido-líquido. El proceso consistió en colocar la materia seca en contacto con el solvente de extracción; a continuación, se realizó una extracción asistida por agitación ultrasónica y, posteriormente, una extracción por microondas. Los tres factores de control seleccionados, así como los tres niveles, se muestran en la Tabla 7.

Los factores de respuesta utilizados para evaluar el diseño de experimentos fueron el contenido de fenoles totales, de terpenos y de fitoesteroles.

Tabla 7. Niveles de los factores de control seleccionados en la optimización de las extracciones acuosas de metabolitos de la flor de palma.

Factor de control	Descripción	Niveles seleccionados		
		-1	0	1
Factor A	Cantidad de muestra, mg	500	750	1000
Factor B	Tiempo US, min	0	5.5	10
Factor C	Temperatura MW, °C	60	70	80
Factor D	Tiempo MW	1	5	10

Donde: US, ultrasonido; MW, microondas.

De acuerdo con el BBD propuesto, se realizaron 27 experimentos por cada solvente de extracción, las matrices de diseño y los resultados de los factores de respuesta se muestran en las Tablas 8, 10 y 12. Los experimentos consistieron en mezclar la muestra con el solvente, realizar la extracción por US y, posteriormente, la extracción por MW. Posteriormente, las fases se separaron por centrifugación a 6000 rpm durante 10 min. Los

sobrenadantes de cada extracto se transfirieron a viales de vidrio y se congelaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su uso.

3.2.1.2 Evaluación de los factores de respuesta

Las cuantificaciones de fenoles totales, terpenos y fitoesteroles (factores de respuesta) se realizaron mediante métodos espectrofotométricos. Por lo que, todas las medidas de absorbancia se realizaron en una celda de cuarzo de 1 cm de para óptico y utilizando un espectrofotómetro Genesys 10Y UV-VIS (Thermo Scientific). Todas las medidas se realizaron por triplicado. Todos los resultados para los extractos se calcularon por interpolación a la curva de calibración.

Fenoles totales

Para la determinación, se midieron 100 μL del estándar o del extracto, 400 μL de solución acuosa de carbonato de sodio al 7.5% y 500 μL de solución diluida de Folin-Ciocalteu (100 mL por cada litro de agua desionizada). Las soluciones se homogeneizaron en vórtex por 1 min y se mantuvieron en reposo durante 30 min en la oscuridad. Posteriormente, se realizaron las mediciones de absorbancia a 765 nm.

La curva de calibración se preparó mediante la dilución de una solución stock de ácido gálico a 300 mg/L, obteniéndose las siguientes concentraciones: 0, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/L. Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por litro de extracto [mg EAG/L] (Chen et al., 2015).

Terpenos

Para esta cuantificación se empleó la metodología reportada por Lukowski y colaboradores (2022), con ligeras modificaciones. Para ello, se colocaron 200 μL del estándar o del extracto y se adicionaron 1.5 mL de diclorometano, la mezcla se agitó con vórtex y se mantuvo en reposo durante 10 min en un baño de hielo. Posteriormente, se agregaron lentamente 100 μL de ácido sulfúrico concentrado y se incubó a temperatura ambiente durante 2 h para las muestras (únicamente 5 min para las soluciones estándar).

Después del tiempo de incubación, se formó un precipitado color rojo marrón, el cual se separó por decantación, luego se agregaron 1.5 mL de metanol y se agitó hasta que las fases se homogeneizaron. Por último, a la solución se le midió la absorbancia a 538 nm, utilizando metanol como blanco.

Para la preparación de la curva estándar, se preparó una solución de linalool en metanol (100 mg/200 μ L) y, a partir de ella, se realizaron diluciones para obtener los estándares (0-100 mg/100 mL). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de linalool por L de extracto (mg EL/L) (Lukowski et al., 2022b).

Fitoesteroles

Para determinar el contenido de fitoesteroles se transfirieron 500 μ L de extracto en un matraz aforado de 5 mL y se adicionaron 400 μ L de anhidro acético. La mezcla se colocó en agitación por vórtex durante 30 s, luego se adicionaron por las paredes y lentamente 25 μ L de ácido sulfúrico concentrado. El contenido se agitó en vórtex durante 1 min. La mezcla se mantuvo en reposo durante 5 min; posteriormente, se aforó a 5 mL con cloroformo y se realizó la lectura de absorbancia a 640 nm.

Para la preparación de la curva de calibración, se partió de una solución madre de colesterol en cloroformo (1000 mg/L) y, por dilución, se prepararon soluciones estándar de 0 a 500 mg/L, a las cuales se les aplicó el mismo procedimiento que al de las muestras. Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de colesterol por litro (mg EC/L) (Araújo et al., 2013).

Debido a que esta reacción es inestable, las mediciones de absorbancia se realizaron a más tardar 20 min después de la derivatización.

3.2.1.3 Análisis estadístico

Partiendo de los datos obtenidos de la medición de los factores de respuesta, el análisis estadístico se realizó con el software Minitab v. 22, mediante el cual se generaron las ecuaciones polinomiales de segundo grado del modelo generalizado de superficie de respuesta (Ecuación 1).

$$Y = \beta_0 + \sum_i^k = 1 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 \quad (1)$$

Donde: Y es la respuesta predicha (compuestos fenólicos totales, terpenos y/o fitoesteroles), X_i y X_j son los niveles de los factores de control, β_0 es el coeficiente de intersección del modelo, β_i , son los coeficientes lineales de primer orden, β_{ii} y β_{ij} son los coeficientes lineales de segundo orden ($i \neq j$) y k es el número de parámetros independientes (en este diseño $k = 3$).

Además, se obtuvieron las superficies de respuesta y los gráficos de contorno para evaluar el efecto de cada factor de control, así como sus interacciones, sobre las respuestas.

3.2.1.4 Optimización y experimentos confirmatorios

El diseño se optimizó tomando como base las condiciones de los factores de control que permiten maximizar las respuestas (contenido de compuestos fenólicos totales, terpenos y fitoesteroles). Asimismo, para validar las extracciones, se obtuvieron valores predichos mediante el modelo matemático, que se compararon con los obtenidos experimentalmente por triplicado.

3.2.2 Pruebas de capacidad antioxidante de los extractos optimizados

Una vez obtenidos los extractos de los experimentos confirmatorios para cada uno de los solventes, se determinó que los resultados eran reproducibles, de acuerdo con los intervalos predichos por el modelo matemático. Posteriormente, se realizaron diversas pruebas para evaluar su capacidad antioxidante.

Todas las mediciones de absorbancia o de fluorescencia se realizaron por triplicado colocando las soluciones en pocillos de microplacas (Costar) y en un lector de microplacas (BioTek Instruments).

3.2.2.1 DPPH

Para esta determinación se siguió la metodología establecida por Koren y colaboradores (2010), para lo cual se inició con la preparación del radical a una concentración de 2 mM, posteriormente, se realizó el ensayo colocando en un pocillo muestra (27 μ L) y solución de DPPH (20 μ L), se dejó a temperatura ambiente durante 2 min; posteriormente, se adicionaron 285 μ L de etanol y se midieron las absorbancias a 517 nm.

Para la cuantificación, se construyó una curva de calibración utilizando soluciones de Trolox en etanol como antioxidante de referencia (0.0625, 0.125, 0.25, 0.50 y 1.00 mM). Los resultados se expresaron como equivalentes milimolares de trolox (eq mM trolox).

3.2.2.2 ORAC

Para esta determinación, se prepararon una solución de AAPH [dihidrocloruro de 2,2'-azobis(2-metilpropionamida)] (150 mM) y otra de fluoresceína (50 mM), ambas en una solución amortiguadora de fosfatos (75 mM, pH 7.4). La derivatización consistió en mezclar 25 μ L de extracto o de solución estándar, 25 μ L de solución de AAPH y 150 μ L de solución de fluoresceína. La mezcla se colocó en una placa negra. Posteriormente, se realizaron las medidas de intensidad de emisión (λ_{em} =485 nm y λ_{exc} =520 nm) durante 1.5 h a 37°C.

La curva de calibración se preparó con soluciones estándar de Trolox (0.0, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 y 1.0 μ M). Los resultados se expresaron en equivalentes micromolares de trolox (eq μ M trolox).

3.2.2.3 FRAP

Para este ensayo se prepararon soluciones de TPTZ [2,4,6-tripiridil-s-triazina] (10 mM en HCl 40 mM) y FeCl₃ (20 mM) y un buffer de acetatos (30 mM, pH 3.6). Posteriormente, se preparó la solución FRAP que consistió en mezclar las soluciones de TPTZ, FeCl₃ y acetatos en proporciones 1:1:10.

Para la determinación, se adicionaron 30 μL de estándar o de extracto a un pocillo y 300 μL de la solución FRAP. La mezcla se homogeneizó y se mantuvo en incubación 15 min a temperatura ambiente, posteriormente se midieron las absorbancias 593 nm.

Para la curva de calibración se prepararon soluciones estándar de Trolox en etanol (0.0125, 0.025, 0.05, 0.10, 0.25 y 0.50 μM). Los resultados se expresaron en equivalentes micromolares de trolox (eq μM trolox) (Morales & Jiménez-Pérez, 2001).

3.2.2.4 Radical anión superóxido

Esta determinación se basó en un proceso enzimático. Para ello, se preparó una mezcla de reacción con xantina (0.3 mM), NBT [azul de nitrotetrazolio] (150 mM), EDTA [sal disódica del ácido etilendiaminotetraacético] (0.6 mM), Na_2CO_3 (0.4 mM) y agua destilada, en las proporciones 8.2:4.1:4.1:2.1:1.5.

Por otro lado, se preparó una solución de xantina oxidasa (0.1 U/mL) en sulfato de amonio (2 M). Para llevar a cabo el ensayo se colocaron en un pocillo 20 μL de muestra, 150 μL de la mezcla de reacción y 10-20 μL de xantina oxidasa, luego se realizaron las lecturas de absorbancia a 560 nm durante 15 min, realizando una lectura cada minuto.

Para el cálculo de los resultados en cada uno de los ensayos se analizó un tubo control, donde en lugar de muestra se agregaron 20 μL de agua y la diferencia obtenida de la primera y última lectura se consideró como el 100% de la generación del anión superóxido, a partir de lo cual se realizaron los cálculos para los diferentes extractos.

Los resultados se expresaron como la concentración inhibitoria 50% (IC_{50}), definida como la concentración necesaria para inhibir al 50% la formación del radical libre.

3.2.2.5 Radical hidroxilo

Para este ensayo se utilizó como medio de disolución un buffer de fosfatos (50 mM, pH 7.4). Posteriormente, se prepararon las siguientes soluciones: ácido ascórbico (1 mM), FeCl_3 (1 mM) con EDTA (1.07 mM), H_2O_2 (10 mM) y tereftalato (7 mM, a partir de tereftalato de potasio).

Para realizar el ensayo se colocaron en un pocillo 20 μL de estándar o muestra, 40 μL de ácido ascórbico, 40 μL de la mezcla $\text{FeCl}_3/\text{EDTA}$, 40 μL de tereftalato, 20 μL de H_2O_2 y 40 μL de agua destilada. Posteriormente, se tomaron medidas de intensidad de emisión ($\lambda_{\text{em}}=432$ nm y $\lambda_{\text{exc}}=326$ nm) durante 30 min, con una lectura cada minuto.

En el caso particular de esta prueba de eliminación de un radical libre, los resultados son tratados para el cálculo de la misma forma que se describe para la evaluación de la eliminación de anión superóxido en la sección 3.2.2.4.

3.3 Resultados y discusión

3.3.1 Optimización de las extracciones de metabolitos

Los solventes de extracción utilizados en este trabajo presentan índices de polaridad diferentes: 9.0 para el agua, 5.2 para el etanol y 3.1 para el diclorometano. Por ello, los compuestos que pueden liberarse del tejido de las flores de palma también presentan diferentes polaridades. Esto ocasionó que, durante la optimización de las extracciones propuestas en este trabajo, el ajuste al modelo polinomial se lograra con factores de respuesta diferentes según el solvente de extracción: compuestos fenólicos totales para la extracción con agua; terpenos para la extracción con etanol; y fitoesteroles para la extracción con diclorometano.

3.3.1.1 Extracciones con agua

En la Tabla 8 se muestra la matriz del diseño de experimentos y los resultados de los factores de respuesta de contenido de compuestos fenólicos totales y terpenos para las dos variedades de flor de palma analizadas (*Y. filifera* y *Y. elephantipes*). Debido a la naturaleza del solvente, no se detectaron fitoesteroles en los extractos acuosos de ambas variedades, esto se puede explicar debido a que sus propiedades fisicoquímicas son similares al colesterol, los cuales son insolubles en agua, además estos forman parte de una familia de más de 250 compuestos, y se ha reportado un contenido relativamente bajo en frutas y verduras siendo los más recurrentes el β -sitosterol, campesterol y estigmasterol (Li et al., 2022).

Tabla 8. Matriz del diseño de experimentos y resultados de los factores de respuesta para las extracciones con agua.

Exp.	Factor de control				<i>Y. filifera</i>	<i>Y. elephantipes</i>		
	A	B	C	D	Fenoles totales*	Terpenos*	Fenoles totales*	Terpenos*
1	0	0	-1	-1	761.67	6.25	695.00	9.58
2	0	0	-1	1	636.03	9.09	657.18	12.28
3	0	0	1	-1	682.18	14.05	668.08	9.55
4	0	0	1	1	752.69	8.20	612.95	7.52
5	-1	-1	0	0	498.85	6.74	472.56	5.86
6	1	-1	0	0	997.56	13.09	836.03	8.62
7	-1	1	0	0	516.79	7.70	453.97	7.21
8	1	1	0	0	836.67	13.98	909.74	15.79
9	0	-1	0	-1	573.85	6.85	662.95	10.22
10	0	-1	0	1	741.79	10.29	622.56	11.00
11	0	1	0	-1	730.26	16.04	620.64	9.05
12	0	1	0	1	650.77	10.18	739.23	12.17
13	-1	0	-1	0	465.51	8.62	503.33	9.05
14	-1	0	1	0	515.51	6.71	420.00	8.20
15	1	0	-1	0	921.92	10.68	953.97	15.22
16	1	0	1	0	972.56	15.79	814.23	11.11
17	-1	0	0	-1	523.21	9.65	468.08	7.63
18	-1	0	0	1	528.97	11.82	434.10	7.56
19	1	0	0	-1	881.54	8.27	830.26	9.48
20	1	0	0	1	746.28	21.43	896.92	11.60
21	0	-1	-1	0	652.05	8.80	673.85	9.76
22	0	-1	1	0	705.90	9.05	576.41	9.37
23	0	1	-1	0	775.77	14.83	653.97	8.70
24	0	1	1	0	695.00	9.62	627.05	13.02
25	0	0	0	0	745.64	14.23	635.38	9.33
26	0	0	0	0	746.92	7.10	623.21	7.67
27	0	0	0	0	746.28	14.90	622.56	8.23

Factores de control: A, cantidad de muestra; B, tiempo de US; C, Temperatura MW; y D, tiempo MW. *Los resultados están dados en mg de grupo de metabolitos por litro de extracto.

Los resultados paramétricos de la ecuación polinomial obtenidos mediante el diseño de experimentos Box-Behnken en los extractos acuosos de *Y. filifera* y *Y. elephantipes* se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Resultados paramétricos de la ecuación polinomial de segundo orden del extracto acuoso de *Y. filifera* y *Y. elephantipes*.

Parámetro	<i>Y. filifera</i>		<i>Y. elephantipes</i>	
	Fenoles totales	Terpenos	Fenoles totales	Terpenos
β_0	-0.001	7.480	6.441	-1.300
β_1	4.20×10^{-3}	8.4×10^{-3}	0.322	0.041
β_2	2.4×10^{-4}	-0.244	0.017	0.041
β_3	2.7×10^{-3}	-0.165	-0.054	0.025
β_4	-7×10^{-6}	0.116	-0.023	0.055
β_1^2	-1.58×10^{-3}	0.000	-0.009	0.000
β_2^2	-5.8×10^{-4}	0.0031	0.014	-3.15×10^{-3}
β_3^2	2.6×10^{-4}	0.129	0.014	-1.86×10^{-3}
β_4^2	-7.5×10^{-4}	0.003	0.025	-2.81×10^{-3}
$\beta_1 \times \beta_2$	-6.5×10^{-5}	5.3×10^{-4}	0.312	-2×10^{-5}
$\beta_1 \times \beta_3$	-3.8×10^{-5}	-1.4×10^{-4}	6×10^{-3}	7×10^{-5}
$\beta_1 \times \beta_4$	-5.7×10^{-4}	3.1×10^{-4}	0.038	1.5×10^{-4}
$\beta_2 \times \beta_3$	-6.7×10^{-5}	0.022	0.028	-3.37×10^{-3}
$\beta_2 \times \beta_4$	-1.4×10^{-4}	0.025	0.059	-0.1488
$\beta_3 \times \beta_4$	9.9×10^{-4}	-0.070	-0.007	-8.37×10^{-3}
R^2	95.45%	73.28%	98.44%	62.70%

Donde: β_0 es el coeficiente de intersección del modelo; β_1 - β_4 son coeficientes de la cantidad de muestra, tiempo US, temperatura MW y tiempo MW, respectivamente.

En la variedad de *Y. filifera*, únicamente el tiempo de extracción por MW (β_4) ejerció un efecto negativo en la respuesta del contenido de fenoles totales. De acuerdo con el modelo, este presentó un coeficiente de correlación (R^2) mayor de 90%, lo que indica que el modelo presentó un buen ajuste para la extracción de este tipo de compuestos. Los mayores efectos positivos en la extracción de compuestos fenólicos en *Y. filifera* los presentaron la cantidad de muestra (β_1) y la temperatura de extracción del microondas (β_3).

Respecto a la respuesta del contenido de fenoles totales en la variedad de *Y. elephantipes*, se puede observar que los parámetros relacionados con la extracción asistida por MW (temperatura [β_3] y tiempo [β_4]) ejercieron un efecto negativo en la extracción de los compuestos fenólicos, mientras que β_1 (cantidad de muestra) y β_4 (tiempo de ultrasonido) tuvieron efectos positivos. Asimismo, el coeficiente de correlación fue mayor a 90%, lo que indica que el modelo matemático fue adecuado.

En la Figura 4 se observan las superficies de respuesta (A y C) y los gráficos de contorno (B y D) para la interacción entre los factores C y D (temperatura y tiempo MW) en la extracción acuosa de metabolitos contenidos en *Y. filifera* y *Y. elephantipes*.

En los gráficos de contorno para *Y. filifera* (Figuras 4A y 4B) se observa que, a mayor tiempo de extracción por microondas, con el intervalo de temperatura más alto establecido, la extracción se ve favorecida; mientras que para la variedad de *Y. elephantipes* (Figuras 4C y 4D) el efecto es contrario.

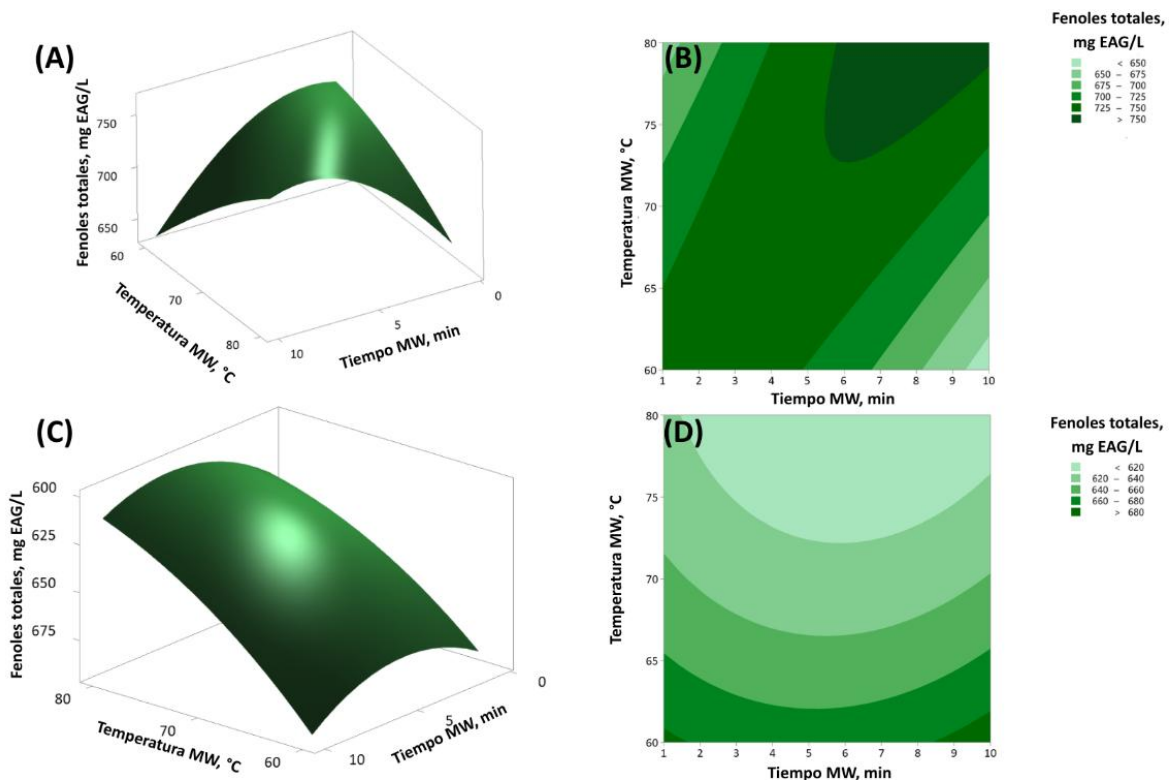


Figura 4. Superficies de respuesta y gráficos de contorno para la extracción acuosa de compuestos fenólicos contenidos en *Y. filifera* (A y B) y *Y. elephantipes* (C y D).

En ambas variedades se cuantificaron los terpenos como otro factor de respuesta. En la variedad de *Y. filifera* se presentó un efecto negativo para el tiempo de US (β_2) y la temperatura de MW (β_4). Esto se debe a que, durante el proceso, pudieron perderse terpenos, ya que son altamente volátiles. En *Y. elephantipes* todos los factores de control ejercieron un efecto positivo en la extracción de esta familia de compuestos. La diferencia del comportamiento en ambas variedades se puede deber a su diferencia morfológica, ya que esta variedad se distingue por tener un tejido más resistente.

Posteriormente, se realizó el análisis estadístico para obtener las condiciones óptimas, las cuales se muestran en la Tabla 10. La variación en las condiciones (tiempo US y temperatura MW) posiblemente se debió a las características morfológicas de ambas variedades, siendo la *Y. elephantipes* la que presenta un tejido más duro, con respecto a la *Y. filifera*, lo que requiere mayor energía para extraer los compuestos de interés (fenólicos).

Tabla 10. Condiciones óptimas para la extracción acuosa de compuestos fenólicos de *Y. filifera* y *Y. elephantipes*.

Variedad	Factor A	Factor B	Factor C	Factor D	Intervalo de predicción*	Valor experimental*
<i>Y. filifera</i>	1000	0	80	10	774.24-1575.76	1192.86±11.40
<i>Y. elephantipes</i>	1000	10	60	10	548.50-1057.70	869.90± 16.90

Donde Factor A-D: cantidad de muestra, tiempo US, temperatura MW y tiempo MW, respectivamente.

*Valores dados en contenido de compuestos fenólicos totales (mg EAG/L).

Para verificar la repetibilidad de los experimentos, se realizaron por triplicado las condiciones óptimas obtenidas mediante el cálculo del modelo matemático para maximizar la extracción acuosa de los compuestos fenólicos totales asistida por ultrasonido y microondas.

Los resultados experimentales (Tabla 10) se encontraron dentro del intervalo predicho por el modelo matemático para ambas variedades. Por lo tanto, se considera que la extracción acuosa de compuestos fenólicos asistida por US y MW es eficiente y se ajusta al modelo.

No se han encontrado estudios donde se evalúen los compuestos fenólicos en las flores de palma; sin embargo, se han reportado en otras flores comestibles como la *Rosa L.* (14.4 mg EAG/g bs) y *Plumbago auriculata* (14.3 mg EAG/g bs) (Gonçalves et al., 2020), las cuales resaltan en este estudio por ser las dos con mayor aporte de las que se incluyeron. Comparando estos resultados con el contenido reportado en este trabajo, donde se obtuvo un total de 17.91 mg EAG/g bs, se puede considerar que las flores de *Y. filifera* son una fuente importante de compuestos fenólicos totales.

3.3.1.2 Extracciones con etanol

En la Tabla 11 se presenta la matriz del diseño de experimentos, así como los resultados de los factores de respuesta relativos al contenido de compuestos fenólicos totales y de terpenos en ambas variedades de flores comestibles de palma (*Y. filifera* y *Y. elephantipes*).

Tabla 11. Matriz del diseño de experimentos y resultados de los factores de respuesta para las extracciones con etanol.

Exp.	Factor de control				<i>Y. filifera</i>	<i>Y. elephantipes</i>		
	A	B	C	D	Fenoles totales*	Terpenos*	Fenoles totales*	Terpenos*
1	0	0	-1	-1	253.91	20.74	260.45	27.20
2	0	0	-1	1	276.63	22.72	332.24	24.59
3	0	0	1	-1	387.37	22.04	202.92	25.11
4	0	0	1	1	405.00	26.26	173.43	44.13
5	-1	-1	0	0	530.83	54.91	303.72	46.26
6	1	-1	0	0	430.48	48.60	239.78	32.25
7	-1	1	0	0	238.65	25.32	242.50	16.05
8	1	1	0	0	227.92	24.44	216.06	12.77
9	0	-1	0	-1	290.58	27.93	234.81	47.15
10	0	-1	0	1	282.40	26.99	186.57	36.16
11	0	1	0	-1	260.29	17.61	174.55	13.66
12	0	1	0	1	298.43	16.68	219.26	11.89
13	-1	0	-1	0	301.96	15.01	192.82	27.15
14	-1	0	1	0	390.74	14.07	222.63	39.23
15	1	0	-1	0	219.42	9.39	154.68	31.99
16	1	0	1	0	568.33	25.38	167.82	33.45
17	-1	0	0	-1	524.74	21.83	189.94	30.79
18	-1	0	0	1	772.82	32.93	207.08	70.27
19	1	0	0	-1	655.19	21.99	209.65	18.08
20	1	0	0	1	294.62	14.23	158.21	13.76
21	0	-1	-1	0	291.73	13.81	175.19	25.38
22	0	-1	1	0	355.19	18.71	110.13	29.49
23	0	1	-1	0	423.46	19.49	245.06	35.95
24	0	1	1	0	262.56	11.68	240.26	26.42
25	0	0	0	0	331.15	19.49	268.46	27.25
26	0	0	0	0	233.40	11.99	232.40	16.47
27	0	0	0	0	490.77	12.56	455.32	74.65

Factores de control: A, cantidad de muestra; B, tiempo de US; C, Temperatura MW; y D, tiempo MW. *Los resultados están dados en mg de grupo de metabolitos por litro de extracto.

A pesar de que para el extracto etanólico también se presentó un mejor ajuste en el factor de respuesta del contenido de compuestos fenólicos para ambas variedades de flores de palma ($R^2= 97.74\%$ y 85.74%), se decidió realizar la optimización enfocada en la extracción de los terpenos, debido a que: 1) la cantidad de compuestos fenólicos que se extraen es menor que en la acuosa (Tabla 8), esto causado por la naturaleza propia de este grupo de compuestos, lo cual les da un carácter polar; y 2) la estructura química de los terpenos los hace más afines al etanol lo que permite su extracción, además, al ser compuestos volátiles, el usar un solvente de menor punto de ebullición, evita la pérdida de estos compuestos. Los resultados paramétricos de la ecuación polinomial obtenidos mediante el diseño de experimentos se presentan en la Tabla 12. Para efectos de la extracción de terpenos la R^2 del ajuste fue menor en comparación con la de los compuestos fenólicos totales; sin embargo, se realizó el establecimiento de las condiciones óptimas basada en esta respuesta, debido a que usando etanol se obtiene la mayor cantidad de terpenos extraídos (Tabla 11), ya que en los extractos acuosos no se detectaron, y en los de diclorometano estuvieron por debajo (Tabla 14).

En cuanto al análisis del modelo matemático, en la variedad de *Y. filifera* se observó que los factores de control: cantidad de muestra (β_1) y tiempo de extracción MW (β_4) tuvieron un efecto negativo sobre la extracción de los terpenos. Sin embargo, el factor con el mayor efecto positivo fue el tiempo de US (β_2). En cuanto a la variedad de *Y. elephantipes*, todos los factores tuvieron una interacción negativa en la extracción de los compuestos de la familia de terpenos.

Si bien el coeficiente de correlación (R^2) es mayor para los compuestos fenólicos totales en ambas variedades, es común que, en extractos de matrices vegetales, la diversidad de compuestos, así como la interacción de todos los presentes, puedan influir en la variabilidad experimental. Sin embargo, obtener los extractos con alto contenido en terpenos permite observar la validez del modelo.

Tabla 12. Resultados paramétricos de la ecuación polinomial de segundo orden del extracto etanólico de *Y. filifera* y *Y. elephantipes*.

Parámetro	<i>Y. filifera</i>		<i>Y. elephantipes</i>	
	Fenoles totales	Terpenos	Fenoles totales	Terpenos
β_0	116.60	-0.78	331.80	10.50
β_1	-0.040	-2.83×10^{-4}	-0.101	-4.29×10^{-3}
β_2	-0.122	0.050	-5.30	-0.362
β_3	-2.438	0.015	-7.24	-0.153
β_4	-2.461	-0.0295	-4.88	-0.325
β_1^2	0	0	2.10×10^{-5}	1.00×10^{-6}
β_2^2	0.011	-6.50×10^{-4}	0.144	5.72×10^{-4}
β_3^2	0.014	1.14×10^{-4}	0.046	7.30×10^{-4}
β_4^2	0.021	1.14×10^{-3}	0.063	9.50×10^{-4}
$\beta_1 \times \beta_2$	1.34×10^{-4}	1.50×10^{-5}	1.29×10^{-4}	-1.39×10^{-4}
$\beta_1 \times \beta_3$	6.33×10^{-4}	9×10^{-6}	7.54×10^{-4}	4.80×10^{-5}
$\beta_1 \times \beta_4$	6.09×10^{-4}	2.50×10^{-5}	2.10×10^{-4}	2.05×10^{-4}
$\beta_2 \times \beta_3$	-2.70×10^{-4}	-7.70×10^{-4}	0.038	6.30×10^{-3}
$\beta_2 \times \beta_4$	3.20×10^{-3}	-5.86×10^{-4}	0.219	-3.30×10^{-3}
$\beta_3 \times \beta_4$	0.025	1.60×10^{-5}	0.014	2.15×10^{-3}
R^2	97.74%	63.90%	85.74%	58.52%

Donde: β_0 es el coeficiente de intersección del modelo; β_1 - β_4 son coeficientes de la cantidad de muestra, tiempo US, temperatura MW y tiempo MW, respectivamente.

Los terpenos es un grupo de compuestos bioactivos con relevancia en la investigación científica actual, ya que contribuyen a obtener beneficios para la salud, principalmente en padecimientos inflamatorios.

Esta familia de metabolitos es amplia y variada, pero, aunque tiene una gran cantidad de estructuras diferentes, comparte la característica de tener cinco carbonos en el esqueleto. En las plantas, estos compuestos desempeñan funciones importantes, ya que actúan como defensa directa e indirecta, además de atraer polinizadores e interactuar entre las plantas, y presentan aplicaciones potenciales en las industrias farmacéutica, cosmética y alimentaria (Wei et al., 2023), en las que se ha demostrado que tienen actividades biológicas contra la inflamación y el estrés oxidativo, e incluso se ha reportado que tienen actividad hepatoprotectora (Déclaire & Nzeuwa, 2021).

En la Figura 5 se muestran las superficies de respuesta y los gráficos de contorno para la extracción etanólica de terpenos contenidos en ambas variedades de flores de palma, en los que se seleccionaron nuevamente, como factores de control para fines comparativos, la temperatura de microondas (Factor C) y el tiempo de extracción en microondas (Factor D).

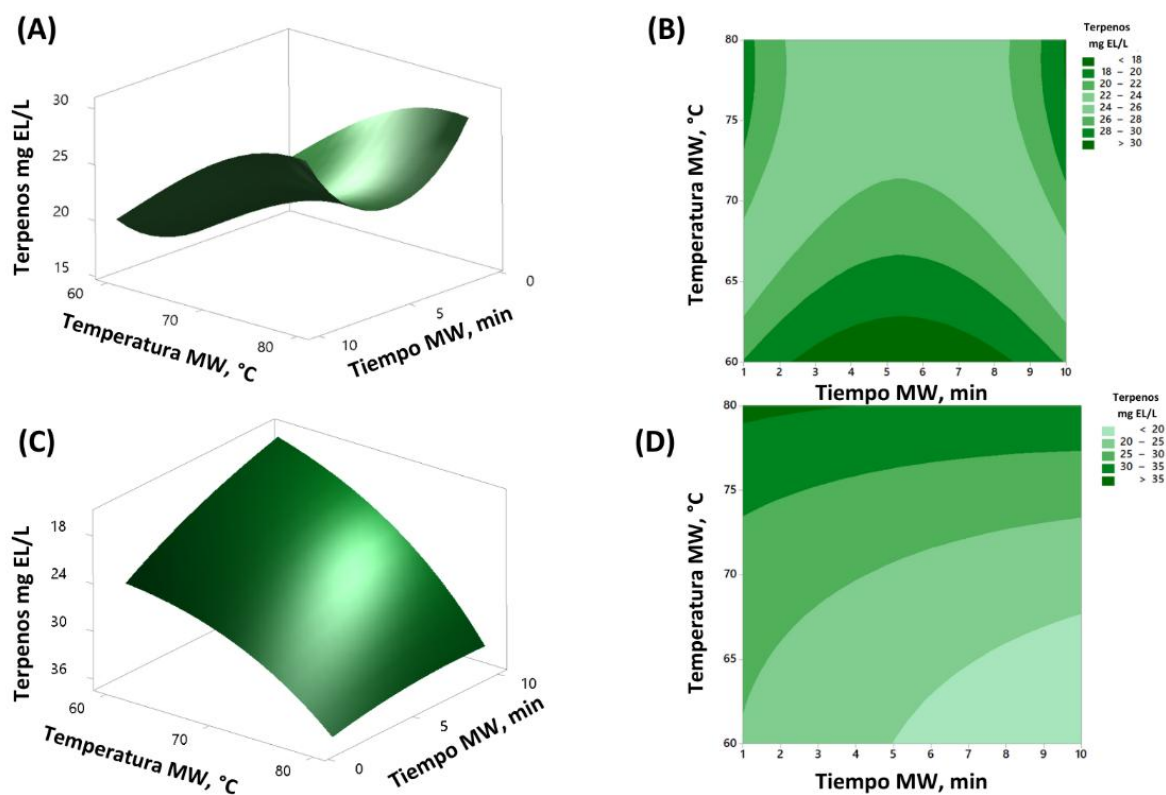


Figura 5. Superficies de respuesta y gráficos de contorno para la extracción etanólica de compuestos terpénicos contenidos en *Y. filifera* (A y B) y *Y. elephantipes* (C y D).

En los gráficos de contorno para ambas variedades (Figuras 5B y 5D) se puede observar que la temperatura en MW (Factor C) y el tiempo de extracción en MW (Factor D) y en su nivel máximo (80°C y 10 min, respectivamente) fueron las condiciones que permitieron una extracción más eficiente de los terpenos contenidos en las flores de palma.

Para determinar las mejores condiciones según el modelo matemático, se realizó un análisis estadístico para maximizar el contenido de terpenos, el cual se presenta en la Tabla 13.

Tabla 13. Resultados paramétricos de la ecuación polinomial de segundo orden para la extracción etanólica de terpenos presentes en *Y. filifera* y *Y. elephantipes*.

Variedad	Factor A	Factor B	Factor C	Factor D	Intervalo de predicción*	Valor experimental*
<i>Y. filifera</i>	1000	5	80	10	18.91-808.97	82.07± 9.10
<i>Y. elephantipes</i>	1000	10	80	10	15.76-600.19	57.64±3.40

Donde Factor A-D: cantidad de muestra, tiempo US, temperatura MW y tiempo MW, respectivamente.
*Valores dados en miligramos equivalente de linalool (mg EL/L).

Resulta importante resaltar que el único factor que tuvo un efecto diferente en ambas variedades fue el tiempo US (Factor B); esto, nuevamente, se atribuye a la diferencia en los tejidos, debido a que la resistencia de estos es mayor en la variedad *Y. elephantipes*, por lo que requiere un mayor tiempo de agitación ultrasónica. Lo que puede indicar que el proceso de cavitación generado por el ultrasonido (Wen et al., 2018) provoca procesos o rupturas que conducen a la pérdida de terpenos en la variedad de *Y. filifera*, probablemente por la mayor exposición de un tejido con menor resistencia y aunado a la característica de que estos compuestos son altamente volátiles.

Finalmente, para comprobar el modelo, se realizó la repetición por triplicado de los experimentos en las condiciones óptimas de extracción para ambas variedades (Tabla 13). Los valores experimentales se encontraron dentro del intervalo predicho para los dos modelos.

Es importante mencionar que, si bien el intervalo de predicción es amplio, debido a que el ajuste es menor, no tiene relación con la invalidación del modelo, sino que refleja la

variabilidad de la matriz alimentaria. Además, estos extractos mostraron datos reproducibles en repeticiones de extracción en condiciones óptimas, lo que indica que las condiciones empleadas generan resultados muy similares, con valores de desviación estándar bajos para ambas variedades (Tabla 13).

En el estudio de las flores comestibles, los compuestos de naturaleza terpénica han sido menos explorados que los compuestos fenólicos. Entre las investigaciones reportadas se encuentra la realizada en flores de *Freesia x hybrida*, que es un brote floral importante por la generación de fuertes aromas indicadores de contenido de terpenos y apocarotenoides, en la que se detectaron hasta 3.5 mg por kg de peso seco (Weng et al., 2021).

Para las flores de palma estudiadas en este trabajo, se obtuvieron contenidos de terpenos de 1231.05 mg/kg bs (*Y. filifera*) y de 864.6 mg/kg bs (*Y. elephantipes*), lo que las convierte en una fuente de estos compuestos volátiles para sus futuras aplicaciones.

3.3.1.3 Extracciones con diclorometano

El diclorometano fue otro de los solventes empleados para optimizar la extracción de metabolitos presentes en las flores de palma. La matriz de diseño de experimentos para esta extracción se presenta en la Tabla 14, donde se evaluaron tres factores de respuesta: el contenido de compuestos fenólicos totales, fitoesteroles y terpenos.

Es importante resaltar que, debido a las diferentes polaridades de los metabolitos, fue posible cuantificar las tres familias de compuestos de relevancia. Sin embargo, los compuestos fenólicos y los terpenos presentaron contenidos inferiores, en comparación con las extracciones acuosas y etanólicas. En contraste, destacan la familia de los fitoesteroles, que no se detectaron en las extracciones acuosas y etanólicas, por lo que fueron los elegidos para optimizar la extracción con diclorometano.

Tabla 14. Matriz del diseño de experimentos y resultados de los factores de respuesta para las extracciones con diclorometano.

Exp.	Factor de control				<i>Y. filifera</i>			<i>Y. elephantipes</i>		
	A	B	C	D	Fenoles totales	Fitoesterol es	Terpenos	Fenoles totales	Fitoestroles	Terpenos
1	0	0	-1	-1	11.22	21.73	5.33	24.33	27.18	9.44
2	0	0	-1	1	15.26	22.94	7.81	26.35	29.61	9.65
3	0	0	1	-1	27.35	25.82	5.47	38.24	32.94	10.29
4	0	0	1	1	33.76	28.85	6.04	58.37	39.30	13.87
5	-1	-1	0	0	52.31	33.09	8.70	53.59	45.82	12.38
6	1	-1	0	0	27.09	26.12	5.68	26.96	53.70	7.84
7	-1	1	0	0	19.53	24.91	10.47	24.52	29.91	7.17
8	1	1	0	0	28.34	24.15	9.62	33.81	24.91	13.45
9	0	-1	0	-1	28.15	25.97	10.50	38.11	29.61	14.40
10	0	-1	0	1	14.04	13.70	6.92	22.21	30.36	13.09
11	0	1	0	-1	30.52	18.85	4.30	42.37	30.97	13.09
12	0	1	0	1	26.35	25.67	5.22	37.85	36.27	13.38
13	-1	0	-1	0	45.74	19.30	4.65	42.82	27.48	12.10
14	-1	0	1	0	23.18	27.79	5.40	33.85	40.21	15.68
15	1	0	-1	0	27.92	20.67	6.18	17.98	21.27	11.04
16	1	0	1	0	60.55	25.36	5.40	43.65	34.15	16.53
17	-1	0	0	-1	43.40	30.97	9.26	60.77	37.94	15.93
18	-1	0	0	1	81.06	33.85	9.79	74.20	38.55	13.73
19	1	0	0	-1	75.65	21.42	10.26	74.26	33.70	12.31
20	1	0	0	1	30.65	18.39	7.88	33.56	26.42	9.87
21	0	-1	-1	0	18.98	23.55	8.06	33.43	25.82	8.80
22	0	-1	1	0	25.84	28.39	12.31	33.30	30.06	7.49
23	0	1	-1	0	45.42	31.27	9.76	51.12	35.36	10.08
24	0	1	1	0	47.63	22.79	11.96	36.63	27.33	10.82
25	0	0	0	0	19.04	23.39	11.21	27.98	29.76	9.30
26	0	0	0	0	13.40	14.76	11.50	22.24	25.52	7.81
27	0	0	0	0	52.22	22.94	8.73	80.99	38.24	12.99

Factores de control: A, cantidad de muestra; B, tiempo de US; C, Temperatura MW; y D, tiempo MW. *Los resultados están dados en mg de grupo de metabolitos por litro de extracto.

Los resultados de la ecuación polinomial de segundo orden para los extractos diclorometánicos se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Resultados paramétricos de la ecuación polinomial de segundo orden del extracto diclorometánico de *Y. filifera* y *Y. elephantipes*.

Parámetro	<i>Y. filifera</i>			<i>Y. elephantipes</i>		
	Fenoles totales	Fitoesteroles	Terpenos	Fenoles totales	Fitoesteroles	Terpenos
β_0	7.44	-6901	13.77	-0.20	-0.03	-7.61
β_1	1.49×10^{-3}	-2.38	-3.01×10^{-3}	9.5×10^{-5}	5.66×10^{-3}	1.79×10^{-3}
β_2	0.02	60	-0.11	-3.48×10^{-2}	-1.35×10^{-3}	0.21
β_3	-0.22	215	-0.26	-7.9×10^{-4}	4.39×10^{-3}	0.26
β_4	0.12	144	-0.23	2.8×10^{-3}	-6.3×10^{-4}	-0.14
β_1^2	1.0×10^{-6}	3.18×10^{-4}	0	-2.06×10^{-4}	-2.16×10^{-3}	0
β_2^2	1.0×10^{-3}	1.18	3.83×10^{-3}	1.0×10^{-6}	-1.15×10^{-3}	-5.20×10^{-3}
β_3^2	2.24×10^{-3}	-1.59	1.26×10^{-3}	3.0×10^{-6}	-8.0×10^{-4}	-1.78×10^{-3}
β_4^2	-9.60×10^{-3}	-1.47	3.36×10^{-3}	5.01×10^{-4}	1.20×10^{-3}	-7.25×10^{-3}
$\beta_1 \times \beta_2$	1.8×10^{-5}	-7.1×10^{-3}	-4.1×10^{-5}	1.77×10^{-2}	3.2×10^{-3}	-6.9×10^{-5}
$\beta_1 \times \beta_3$	-4.6×10^{-5}	3.14×10^{-2}	4.7×10^{-5}	5.7×10^{-3}	19.6×10^{-3}	-1.8×10^{-5}
$\beta_1 \times \beta_4$	-1.7×10^{-5}	3.14×10^{-2}	-1.7×10^{-5}	1.13×10^{-3}	1.60×10^{-3}	-1.53×10^{-4}
$\beta_2 \times \beta_3$	-8.8×10^{-4}	-0.92	1.10×10^{-3}	1.73×10^{-2}	-5.4×10^{-4}	-8.7×10^{-4}
$\beta_2 \times \beta_4$	-5.1×10^{-4}	-0.06	1.19×10^{-2}	-9.15×10^{-3}	-1.91×10^{-3}	1.16×10^{-2}
$\beta_3 \times \beta_4$	1.37×10^{-3}	-2.08	2.56×10^{-3}	9.25×10^{-3}	-1.54×10^{-3}	6.59×10^{-3}
R ²	94.72%	86.24%	57.82	91.15%	76.69%	70.40%

Donde: β_0 es el coeficiente de intersección del modelo; β_1 - β_4 son coeficientes de la cantidad de muestra, tiempo US, temperatura MW y tiempo MW, respectivamente.

Algo importante de resaltar es que en este extracto el valor de R² que generó el ajuste del diseño de experimentos fue mayor para la respuesta del contenido de fenoles totales para

Y. filifera y *Y. elephantipes* (94.72 y 91.15%, respectivamente) que el de fitoesteroles (86.24 y 76.69%, respectivamente); no obstante, la cantidad de compuestos fenólicos extraídos es muy baja en comparación con los resultados de las extracciones acuosa y etanólica. Dado que la mayor cantidad de fitoesteroles se encontró en este extracto, se optimizó con base en esta respuesta, reiterando nuevamente la variabilidad en las interacciones, así como la presencia de compuestos en cada una de las flores de palma estudiadas.

En la variedad de *Y. filifera* la cantidad de muestra (β_1) tuvo un efecto negativo en la extracción de fitoesteroles, este efecto no se encontró en la variedad de *Y. elephantipes*, donde los factores que incidieron negativamente fueron los tiempos MW y US (β_2 y β_4). Mientras que, los de mayor impacto positivo fueron la temperatura MW (β_3) y la cantidad de muestra (β_1) para *Y. filifera* y *Y. elephantipes*, respectivamente.

Las mejores condiciones de extracción de fitoesteroles con diclorometano se pueden observar en las superficies de respuesta y los gráficos de contorno (Figura 6), considerando como factores de control la temperatura de MW y el tiempo MW (Factores C y D).

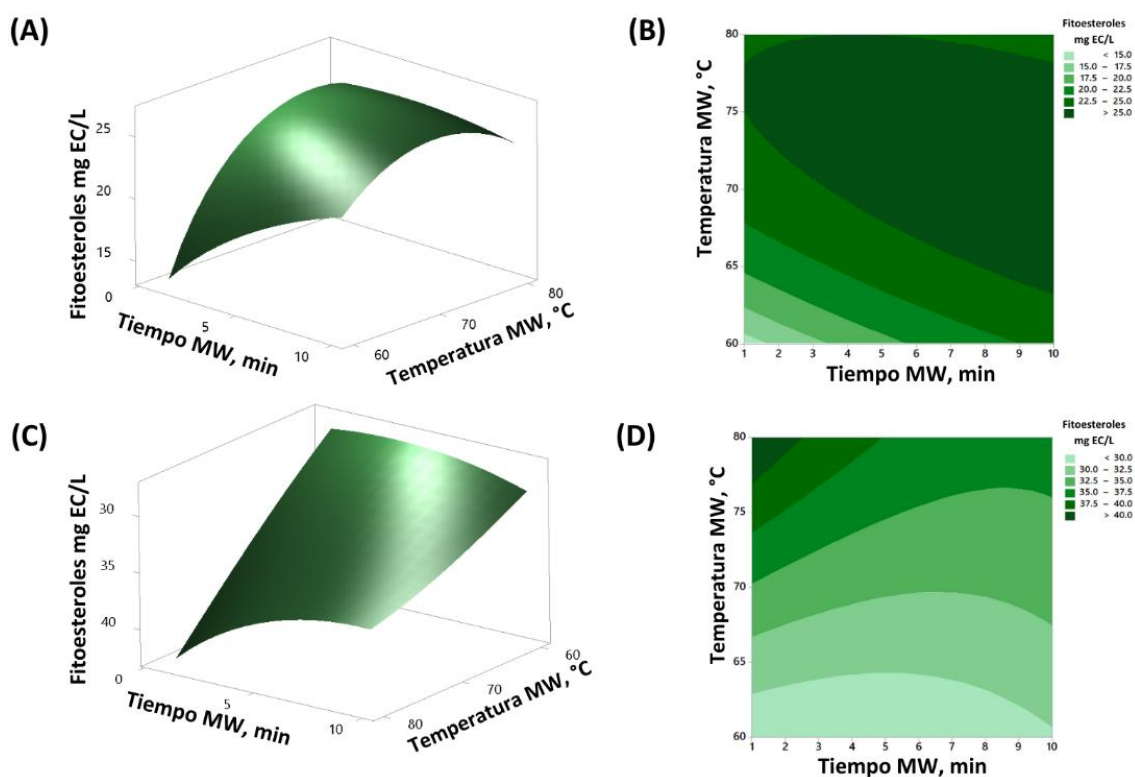


Figura 6. Superficies de respuesta y gráficos de contorno para la extracción diclorometánica de fitoesteroles en *Y. filifera* (A y B) y *Y. elephantipes* (C y D).

Las mejores condiciones de extracción de fitoesteroles con diclorometano se consiguieron a temperatura de extracción con MW (Factor C) muy cercana al nivel máximo (80°C) y en tiempos de extracción con MW fueron diferentes en función a la variedad de flor de palma, siendo para *Y. filifera* de 10 min, mientras que, para *Y. elephantipes* el mayor contenido de fitoesteroles se encontró con 1 min de extracción por MW (Tabla 16). Las diferencias entre el comportamiento de la extracción se pueden atribuir a las características de cada una de las variedades.

Tabla 16. Resultados paramétricos de la ecuación polinomial de segundo orden del extracto diclorometánico de *Y. filifera* y *Y. elephantipes*.

Variedad	Factor A	Factor B	Factor C	Factor D	Intervalo de predicción*	Valor experimental*
<i>Y. filifera</i>	1000	0	76	10	28.21-39.13	42.33±2.14
<i>Y. elephantipes</i>	1000	10	78	1	30.96-184.89	55.21±1.89

Donde Factor A-D: cantidad de muestra, tiempo US, temperatura MW y tiempo MW, respectivamente. *Valores dados en contenido de fitoesteroles en miligramos equivalentes de colesterol por litro de extracto (mg EC/L).

Para *Y. filifera*, no se requirió una extracción previa con US (Factor B) para maximizar la extracción de los compuestos; sin embargo, se necesitó mayor tiempo de extracción por MW (10 min). Esto puede deberse a que el tejido de esta variedad interactúa fuertemente con los fitoesteroles, lo que demanda más energía para liberarlos.

La *Y. elephantipes*, al tener un tejido más grueso, requirió un mayor tiempo de extracción por US (10 min), para liberar los fitoesteroles, mientras que el tiempo de extracción por microondas fue menor (1 min). En este sentido, a pesar de que la *Y. elephantipes* presenta un tejido más grueso, se puede inferir que las interacciones de este con los fitoesteroles no son muy fuertes, requiriendo menor energía para liberar los metabolitos.

Para los estudios confirmatorios, se observó repetibilidad en los experimentos, además, el valor obtenido de manera experimental se encontró dentro del intervalo de predicción (Tabla 16), por lo que el proceso de optimización se consideró adecuado.

Los fitoesteroles se han estudiado en otras flores comestibles, entre los que destaca el trabajo realizado por Saini y colaboradores (2023), quienes reportaron un contenido de fitoesteroles de 254.53 $\mu\text{g/g}$ bs en pétalos de margarita. En este trabajo se encontraron contenidos máximos de fitoesteroles extraídos de 634.95 $\mu\text{g/g}$ bs (para *Y. filifera*) y de 828.15 $\mu\text{g/g}$ bs (para *Y. elephantipes*). Por lo tanto, se puede indicar que se obtuvieron mejores resultados en la extracción de fitoesteroles mediante un proceso de optimización, aunque la diferencia podría deberse también a la especie en la que se realizó el estudio.

3.3.2 Pruebas de capacidad antioxidante

En la Tabla 17 se presentan los resultados de las diferentes pruebas correspondientes a la capacidad de eliminación de radicales libres en los extractos obtenidos mediante la optimización de las condiciones de extracción asistida (microondas y ultrasonido) con agua y etanol, así como en las dos variedades estudiadas en este trabajo (*Y. filifera* y *Y. elephantipes*). Estos estudios no se realizaron con el extracto de diclorometano, debido a que la polaridad de las moléculas no es compatible con las medidas realizadas.

Tabla 17. Capacidad de eliminación de radicales libres en los extractos optimizados de flores de palma.

Prueba	Extracto			
	YFA	YFE	YEA	YEE
ORAC Eq μM trolox	4128.50 \pm 16.90 ^a	2441.10 \pm 92.20 ^b	1252.70 \pm 23.80 ^c	2502.30 \pm 49.50 ^b
FRAP Eq μM trolox	2.72 \pm 0.07 ^a	1.85 \pm 0.07 ^b	1.37 \pm 0.01 ^c	2.93 \pm 0.20 ^a
Anión superóxido IC ₅₀ /mg bs	1.16 \pm 0.10 ^b	ND	1.79 \pm 0.10 ^b	3.66 \pm 0.40 ^a
DPPH Eq μM trolox	3.71 \pm 0.50 ^b	2.07 \pm 0.01 ^c	2.26 \pm 0.20 ^c	6.38 \pm 0.10 ^a
Radical hidroxilo IC ₅₀ / mg bs	1.50 \pm 0.30 ^a	ND	0.95 \pm 0.04 ^b	ND

Donde: Eq μM trolox, equivalentes micromolares de trolox; IC₅₀, concentración inhibitoria 50; bs, base seca; ND, no detectado; YFA, extracto acuoso de *Y. filifera*; YFE, extracto etanólico de *Y. filifera*; YEA, extracto acuoso de *Y. elephantipes*; YEE: extracto etanólico de *Y. elephantipes*. Los valores se presentan como media \pm DE (n=3). ^{a-c}Las letras indican diferencias significativas entre los grupos, mediante una prueba post hoc de Tukey ($p < 0.05$).

Las diferentes metodologías que miden la capacidad antioxidante en productos alimentarios son un tema de interés, ya que los alimentos se pueden considerar como fuentes de sustancias antioxidantes y generar beneficios al ser consumidos (Zulueta et al., 2008).

En primer lugar, se presenta la capacidad antioxidante, medida mediante la prueba de capacidad antioxidante de radicales de oxígeno (ORAC), en la que se observa que el extracto acuoso de *Y. filifera* (YFA) presenta la mayor capacidad. Para comparar los resultados de este trabajo con los reportados en la literatura para flores comestibles por Wang y colaboradores (2016), se realizó la conversión de unidades, dando un contenido para el YFA de 61.92 Eq mM trolox/g bs, el cual es intermedio al obtenido para la *Gardenia jasminoides* Ellis (60.27 Eq mM Trolox/g bs) y para el *Chrysanthemum morofoluim* Ramat (76.32 Eq mM trolox/g bs).

La capacidad antioxidante por ORAC de algunas frutas y verduras puede proteger de daños celulares y prevenir algunas de las enfermedades crónicas como la diabetes o el cáncer (Madani et al., 2025).

Sin embargo, cuando se revisó la capacidad antioxidante por el poder antioxidante reductor férrico (FRAP), esta fue baja para todos los extractos estudiados (0.02-0.43 Eq μ M de trolox/g bs), sobre todo si se compara con otras flores como las de *Agave salmiana* (25 Eq μ M de trolox/g bs) y *Aloe vera* (36 Eq μ M de trolox/g bs) (Kandylis, 2022). Si bien es cierto, estas diferencias pueden ser debidas a las especies de flores comestibles, también se pueden atribuir al tipo de antioxidante presente, debido a que en el ensayo de FRAP se evalúa la capacidad antioxidante por transferencia de electrones, no por neutralización de radicales libres.

Para este trabajo se encontraron que para la eliminación del 50% de anión superóxido se requieren 0.95 mg de YEE y 1.66 mg de YFA. Aunque la actividad de eliminación del anión superóxido no es ampliamente estudiada en las flores comestibles, se ha reportado en algunas de ellas; por ejemplo, se encontró que los extractos de la flor de *Tagetes erecta* eliminan aproximadamente el 50% de los radicales de superóxido por cada 2.52 mg,

mientras que el de *Paeonia lactiflora* Pall requiere 0.89 mg para eliminar la misma cantidad de anión superóxido (Zeng et al., 2014). Estos resultados sugieren que las flores de palma tienen una actividad importante en la eliminación del anión superóxido, lo que puede incidir de manera significativa en la salud del consumidor. De hecho, el anión superóxido es un tipo de especie reactiva de oxígeno (ROS), producto de la reducción de un solo electrón de las moléculas de oxígeno, y se relaciona directamente con la aparición de enfermedades inflamatorias e incluso con el aumento de la apoptosis en las células (Jie et al., 2022).

Uno de los ensayos más populares para medir la capacidad antioxidante de los alimentos es el de eliminación del radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) y se han descrito tres mecanismos que demuestran la forma en que se genera la eliminación de este radical, con una transferencia de átomos de hidrógeno, la transferencia de los electrones individuales seguida de la transferencia de protones y la transferencia secuencial de electrones con pérdida de protones, seguida de la transferencia secuencial de electrones con pérdida de protones, y estos se han relacionado en alimentos principalmente a las actividades que ejercen los polifenoles (Yamauchi et al., 2024).

Los extractos de las flores de palma presentaron actividades antioxidantes por DPPH menores a las reportadas en flores comestibles como la de *Tagetes erecta* y *Panax notogingeng* (Zeng et al., 2014), estas diferencias se pueden atribuir a los diferentes tipos de compuestos que realizan actividades antioxidantes. Algunos de los compuestos relacionados con la capacidad antioxidante por DPPH son de tipo fenólico, y desde hace décadas se ha descrito en la literatura una relación directa entre la estructura de los compuestos de este grupo y la capacidad antioxidante por DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), identificándose que la presencia de algunos compuestos puede mejorar los resultados obtenidos con esta técnica (Rice-Evans et al., 1996).

Al comparar los resultados con lo reportado anteriormente en flores comestibles, como la *Tagetes erecta* y *Panax notogingeng* (Zeng et al., 2014), las flores de palma presentan valores menores, estas diferencias se pueden atribuir a los diferentes tipos de compuestos que realizan actividades antioxidantes, como bien se mencionó con anterioridad, algunas de los compuestos que se relacionan con la actividad antioxidante por DPPH, son el grupo

de los compuestos fenólicos totales, se ha descrito desde hace décadas que existe una relación directa entre la estructura de los compuestos de este grupo y la actividad antioxidante, identificando que la presencia de algunos compuestos puede mejorar los resultados obtenidos por esta técnica (Rice-Evans et al., 1996).

Además, se ha identificado que los ácidos o bases contenidos en la muestra pueden modificar los resultados de las capacidades antioxidantes obtenidas por la metodología de DPPH (Huang et al., 2005). Por lo tanto, todos estos factores pueden afectar o generar las diferencias entre las diferentes especies de flores comestibles; sin embargo, es de importancia resaltar que la capacidad antioxidante está presente en los extractos óptimos.

Finalmente, se midió la actividad antioxidante a partir de la neutralización del radical hidróxilo ($\bullet\text{OH}$). Por la naturaleza que tiene este radical, sólo se detectó en los extractos acuosos (YFA y YEA), cuyos valores fueron similares a los obtenidos para *Tagetes erecta* y menores a los reportados para *Panax notigunseng* (Zeng et al., 2014). El radical hidroxilo ($\bullet\text{OH}$) es otra de las especies reactivas que se eligieron para el estudio de la capacidad antioxidante de las flores de palma. Este radical se considera una de las especies más reactivas, ya que causa la peroxidación de los lípidos de las membranas y se ha destacado por sus efectos mutagénicos y carcinógenos (Lipinski, 2011).

3.4 Conclusiones

El diseño de experimentos tipo Box-Behnken permitió optimizar las condiciones de extracción asistida con ultrasonido y microondas de metabolitos de dos variedades de flor de palma.

Los extractos acuosos, etanólicos y diclorometánicos se ajustaron al modelo matemático para la extracción asistida de compuestos fenólicos, terpenos y fitoesteroles presentes en dos variedades de flor de palma.

La naturaleza de los metabolitos, el tiempo de extracción por ultrasonido y las condiciones del proceso por microondas (temperatura y tiempo) fueron factores que influyeron en la cantidad de compuestos extraídos.

Las características de los tejidos de las dos variedades de flores de palma influyeron en la extracción de metabolitos.

Los extractos acuosos y etanólicos optimizados para las dos variedades de flor de palma presentaron capacidad antioxidante relevante, principalmente el extracto acuoso de *Y. filifera*, sobre todo en la actividad por ORAC, FRAP y la eliminación del radical hidroxilo.

Las flores de palma se pueden considerar una fuente importante de metabolitos, tales como fenoles, terpenos y fitoesteroles, los cuales presentan actividades biológicas de importancia.

Referencias

- Araújo, L. B., Silva, S. L., Galvão, M. A., Ferreira, M. R., Araújo, E. L., Randau, K. P., & Soares, L. A. (2013). Total phytosterol content in drug materials and extracts from roots of *Acanthospermum hispidum* by UV-VIS spectrophotometry. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 23(5), 736-742. <https://doi.org/10.1590/s0102-695x2013000500004>
- Chen, G., Chen, S., Xie, Y., Fu, C., Zhao, Y., Luo, C., & Gao, Y. (2015). Total phenolic, flavonoid and antioxidant activity of 23 edible flowers subjected to in vitro digestion. *Journal of Functional Foods*, 17, 243-259. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.05.028>
- Déclaire, M., & Nzeuwa, I. B. (2021). TERPENES : Structural classification and biological activities. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 16(3). <https://doi.org/10.9790/3008-1603012540>
- Gil-Martín, E., Forbes-Hernández, T. Y., Alejandro, R., Cianciosi, D., Giampieri, F., & Battino, M. (2022). Influence of the extraction method on the recovery of bioactive phenolic compounds from food industry by-products. *Food Chemistry*, 378, 131918. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131918>

- Gonçalves, F., Gonçalves, J. C., Ferrão, A. C., Correia, P., & Guiné, R. P. F. (2020). Evaluation of phenolic compounds and antioxidant activity in some edible flowers. *Open Agriculture*, 5(1), 857-870. <https://doi.org/10.1515/opag-2020-0087>
- Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005b). The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 1841-1856. <https://doi.org/10.1021/jf030723c>
- Jie, Z., Liu, J., Shu, M., Ying, Y., & Yang, H. (2021). Detection strategies for superoxide anion: A review. *Talanta*, 236, 122892. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2021.122892>
- Kandylis, P. (2022). Phytochemicals and Antioxidant Properties of Edible Flowers. *Applied Sciences*, 12(19), 9937. <https://doi.org/10.3390/app12199937>
- Leonelli, C., & Mason, T. J. (2010). Microwave and ultrasonic processing: now a realistic option for industry. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 49(9), 885-900. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2010.05.006>
- Li, X., Yan, X., Mo, Y., Marozik, P., He, T., & Guo, H. (2022). The bioavailability and biological activities of phytosterols as modulators of cholesterol metabolism. *Molecules*, 27(2), 523. <https://doi.org/10.3390/molecules27020523>
- Lipinski, B. (2011). Hydroxyl Radical and Its Scavengers in Health and Disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2011, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2011/809696>
- Łukowski, A., Jagiełło, R., Robakowski, P., Adamczyk, D., & Karolewski, P. (2022). Adaptation of a simple method to determine the total terpenoid content in needles of coniferous trees. *Plant Science*, 314, 111090. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2021.111090>
- Madani, Z., Javardi, M. M., Majdizadeh, G., Mostafaei, Z., Djazayeri, S. A., Karandish, M., & Movahedi, A. (2025). Relationship between oxygen radical absorbance capacity (ORAC) index, body composition and blood biochemical markers in overweight/obese compared to normal weight subjects: a cross-sectional study.

Journal of Health Population and Nutrition, 44(1), 222.
<https://doi.org/10.1186/s41043-025-00952-w>

Morales, F. J., & Jiménez-Pérez, S. (2001). Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *Food Chemistry*, 72(1), 119-125. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(00\)00239-9](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(00)00239-9)

Reche, C., Rosselló, C., Umaña, M. M., Eim, V., & Simal, S. (2021). Mathematical Modelling of Ultrasound-Assisted Extraction Kinetics of Bioactive Compounds from Artichoke By-Products. *Foods*, 10(5), 931. <https://doi.org/10.3390/foods10050931>

Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., & Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*, 20(7), 933-956. [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(95\)02227-9](https://doi.org/10.1016/0891-5849(95)02227-9)

Saini, R. K., Ahn, H., Park, G., Shin, J., Lee, J., Lee, J., Yu, J., Song, M., Keum, Y., Lee, J., & Lee, J. (2023). Quantitative Profiling of Carotenoids, Tocopherols, Phytosterols, and Fatty Acids in the Flower Petals of Ten Marigold (*Tagetes* spp. L.) Cultivars. *Foods*, 12(19), 3549. <https://doi.org/10.3390/foods12193549>

Takahashi, J. A., Rezende, F. A. G. G., Moura, M. A. F. E., Dominguet, L. C. B., & Sande, D. (2020). Edible flowers: bioactive profile and its potential to be used in food development. *Food Research International*, 129, 108868. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108868>

Wang, F., Miao, M., Xia, H., Yang, L., Wang, S., & Sun, G. (2016). Antioxidant activities of aqueous extracts from 12 Chinese edible flowers in vitro and in vivo. *Food & Nutrition Research*, 61(1), 1265324. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1265324>

Wei, J., Yang, Y., Peng, Y., Wang, S., Zhang, J., Liu, X., Liu, J., Wen, B., & Li, M. (2023). Biosynthesis and the Transcriptional Regulation of Terpenoids in Tea Plants (*Camellia sinensis*). *International Journal of Molecular Sciences*, 24(8), 6937. <https://doi.org/10.3390/ijms24086937>

- Wen, C., Zhang, J., Zhang, H., Dzah, C. S., Zandile, M., Duan, Y., Ma, H., & Luo, X. (2018). Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops – A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 48, 538-549. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.07.018>
- Weng, S., Fu, X., Gao, Y., Liu, T., Sun, Y., & Tang, D. (2021). Identification and Evaluation of Aromatic Volatile Compounds in 26 Cultivars and 8 Hybrids of *Freesia hybrida*. *Molecules*, 26(15), 4482. <https://doi.org/10.3390/molecules26154482>
- Xu, D., Zheng, J., Zhou, Y., Wang, Y., Li, S., & Li, H. (2017). Ultrasound-assisted extraction of natural antioxidants from the flower of *limonium sinuatum*: optimization and comparison with conventional methods. *Food Chemistry*, 217, 552-559. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.013>
- Yamauchi, M., Kitamura, Y., Nagano, H., Kawatsu, J., & Gotoh, H. (2024). DPPH Measurements and Structure—Activity Relationship Studies on the Antioxidant Capacity of Phenols. *Antioxidants*, 13(3), 309. <https://doi.org/10.3390/antiox13030309>
- Yang, L., Cao, Y., Jiang, J., Lin, Q., Chen, J., & Zhu, L. (2010). Response surface optimization of ultrasound-assisted flavonoids extraction from the flower of *Citrus aurantium* L. Var. *amara* engl. *Journal of Separation Science*, 33(9), 1349-1355. <https://doi.org/10.1002/jssc.200900776>
- Zeng, Y., Deng, M., Lv, Z., & Peng, Y. (2014). Evaluation of antioxidant activities of extracts from 19 Chinese edible flowers. *SpringerPlus*, 3(1), 315. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-315>
- Zhang, H., Hong-Guang, Y., Li, Q., Lin, H., & Wen, X. (2021). Identification of VOCs in essential oils extracted using ultrasound- and microwave-assisted methods from sweet cherry flower. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80891-0>
- Zhao, L., Fan, H., Zhang, M., Chitrakar, B., Bhandari, B., & Wang, B. (2019). Edible Flowers: Review of flower processing and extraction of bioactive compounds by novel

technologies. *Food Research International*, 126, 108660.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108660>

Zulueta, A., Esteve, M. J., & Frígola, A. (2008). ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products. *Food Chemistry*, 114(1), 310-316. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.033>

**Capítulo 4: Evaluación de la DL₅₀ y
ensayos *in vivo* de actividades
biológicas de metabolitos presentes
en flores de palma**

Resumen

Las flores comestibles producen metabolitos secundarios que pueden ejercer actividades biológicas de importancia, como las antiinflamatorias y antioxidantes; incluso pueden ejercer un efecto inhibitor sobre algunas enzimas. Sin embargo, para alcanzar las dosis que logren producir los efectos esperados y que además se consideren seguras para su consumo, es vital realizar estudios *in vivo* que permitan probar tanto la seguridad como la actividad en el organismo. Debido a la falta de información en la literatura donde se haya probado con anterioridad la toxicidad oral de las flores de palma, así como sus actividades biológicas, el objetivo de este capítulo fue evaluar la dosis letal media (DL₅₀) de los extractos de flor de palma, así como evaluar las actividades biológicas en el modelo de *Carnohabtidis elegans*, para relacionarlo con los posibles efectos benéficos que pueda ocasionar en los consumidores. La prueba de DL₅₀ se realizó mediante pruebas a la dosis máxima (2000 mg/kpc) en un modelo murino y se registraron los comportamientos y cambios durante los 20 min, 2, 4, 6 y 24 h hasta 14 días subsecuentes a la administración del extracto. Posteriormente, se llevó a cabo el sacrificio de los animales para observar los órganos diana y registrar los cambios. Para el modelo de *C. elegans* se realizaron pruebas de esperanza de vida para identificar las dosis que presentaron efecto y, posteriormente, probarlas en experimentos frente a actividades de termotolerancia y de estrés oxidativo. En cuanto a los resultados, se comprobó que los extractos acuosos, etanólicos y de diclorometano de flores de palma no presentaron datos que sugieran toxicidad en los modelos murinos, por lo que pueden considerarse seguros hasta la dosis probada como máxima. Además, los extractos acuosos prolongaron la vida de los nemátodos y mejoraron la resistencia al estrés térmico y oxidativo. De acuerdo con los resultados, los compuestos extraídos de las flores de palma comestibles presentan actividades biológicas benéficas en los modelos *in vivo* evaluados.

Palabras clave: flores de palma, extractos, DL₅₀, *C. elegans*, estrés oxidativo,

4.1 Introducción

Las flores de palma se consumen en la dieta de algunos estados de México, donde son endémicas. Sin embargo, no se han encontrado estudios que evalúen la toxicidad oral aguda de extractos obtenidos de *Yucca* spp. No obstante, es importante destacar que este tipo de evaluación ya se ha realizado en otras flores comestibles.

Por ejemplo, en las flores de malváceas (*Hibiscus rosa-sinensis* L.) se evaluó la toxicidad oral aguda de un extracto etanólico obtenido mediante Soxhlet y posteriormente concentrado mediante presión reducida. Este extracto se probó en ratones albinos y bajo las normas indicadas por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), empleando la dosis límite de 2000 mg/kg de peso, debido a la ausencia de antecedentes previos. Tras la administración del extracto, los animales se mantuvieron bajo observación durante 14 días para determinar cambios conductuales, morfológicos o de mortalidad.

Durante el período de observación no se registraron mortalidad ni alteraciones en las características morfológicas. No se observaron salivación, diarrea, letargo, automutilación ni marcha retrógrada. Los animales se mantuvieron receptivos a los estímulos sensoriales y la fuerza de agarre se observó normal. Por lo anterior, se determinó que el extracto etanólico de *Hibiscus rosa-sinensis* era seguro a dosis única de 2000 mg/kg peso (Mondal et al., 2016).

En otro estudio se evaluó la DL₅₀ de un extracto acuoso de flores de *Bombax ceiba*. De acuerdo con las directrices de la OCDE, se administró la dosis máxima establecida (2000 mg/kg peso) a ratas Wistar (n=3) adultas sanas de entre 2 y 3 meses de edad con agua y alimentación *ad libitum* y se mantuvieron en observación a las 2, 24 y 72 h posteriores a la administración para observar cambios en perfiles conductuales, neurológicos y autonómicos hasta 14 días después para observar letalidad o muerte; sin embargo, no se observó ninguna reacción adversa durante el periodo de observación, por lo que se determinó que el extracto acuoso de flores de *Bombax ceiba* es seguro a la dosis máxima (Wanjari et al., 2016).

Por otro lado, el nemátodo *C. elegans* es considerado un modelo *in vivo* ampliamente utilizado para el estudio de procesos biológicos y la evaluación de actividades de metabolitos. Este modelo animal se ha clasificado como simple, debido a su corta esperanza de vida en comparación con los modelos murinos, una elevada tasa de reproducción y a que contiene principios biológicos comparados con los humanos. Adicionalmente, se sabe que este nemátodo se alimenta de *Escherichia coli*, por lo que se ha demostrado que es capaz de ingerir nutrientes del medio en el que se desarrolla (Mudd et al., 2022).

Entre las características más relevantes de este modelo, se destaca que aproximadamente el 80 % de sus genes presentan homólogos humanos, lo que permite el estudio de procesos como el estrés oxidativo, el envejecimiento, la muerte celular y las vías de señalización. Asimismo, se han desarrollado cepas *knockout* mediante tecnología de interferencia por ARN, lo que permite describir con detalle y precisión las señalizaciones celulares. En la actualidad, *C. elegans* se ha empleado para evaluar los mecanismos de acción de extractos vegetales, incluida su capacidad para reducir el estrés oxidativo (Hernández-Cruz et al., 2023).

Por lo que el objetivo de este capítulo fue evaluar la DL_{50} de tres extractos (acuoso, etanólico y diclorometánico) obtenidos de dos variedades de flor de palma con la finalidad de tener un indicador de toxicidad aguda y relacionar el contenido de metabolitos con las actividades biológicas de mayor relevancia para evaluarlas mediante ensayos *in vivo* en un modelo de *C. elegans*.

4.2 Metodología

4.2.1 Evaluación de la DL_{50}

Para este estudio se utilizaron 27 ratones machos albinos de la cepa CD1, de 6 semanas de edad, con una masa corporal de 31-40 g al inicio de la intervención, provenientes del Bioterio de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. El protocolo experimental se aprobó por el Comité de Ética de la misma institución, con número de folio CICUAL-V-I/01/2024 (Anexo 2).

En la evaluación de la dosis letal media (DL_{50}) de flores de palma (*Y. filifera* y *Y. elephantipes*) se emplearon los extractos optimizados descritos en el Capítulo 3 de este trabajo. La dosis límite establecida por la OCDE, correspondiente a 2000 mg/kg de peso corporal, se administró por vía intragástrica a los animales, con base en la información reportada previamente para extractos de otras flores comestibles.

Los animales se mantuvieron bajo ciclos de luz-oscuridad de 12 h, con alimentación y agua *ad libitum*. Para la alimentación se empleó una dieta estándar proporcionada por el Bioterio de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Los animales se distribuyeron en diferentes grupos experimentales, uno por cada extracto (acuoso, etanólico y diclorometánico) de cada variedad de flor (*Y. filifera* y *Y. elephantipes*), con un tamaño de muestra de $n=3$ por grupo, así como en un grupo control al cual se le administró el diluyente del extracto (agua).

Previo a la administración de la dosis, los animales se sometieron a un ayuno de 12 h para el alimento y de 3 a 4 h para el agua. La administración de los extractos se realizó mediante sonda intragástrica, en un volumen máximo de 2 mL por cada 100 g de peso corporal, diluyendo previamente el extracto en el vehículo correspondiente.

Posterior a la administración, los animales se observaron de manera individual a los 30 min, 2, 4, 6, 24 y 72 h, y posteriormente hasta 14 días, con el objetivo de identificar posibles signos de toxicidad. Se consideraron como signos de toxicidad los cambios en la piel, pelaje, ojos y membranas mucosas; alteraciones en los sistemas respiratorio, circulatorio, autónomo y nervioso central; modificaciones en la actividad somatomotora y en el patrón de comportamiento; así como la presencia de temblores, convulsiones, salivación, diarrea, letargo, somnolencia o coma.

Al finalizar el período de observación de 14 días, los animales experimentales se sacrificaron mediante dislocación cervical, y de manera inmediata se procedió a la realización de la necropsia. Para ello, el cadáver se colocó en decúbito supino, extendiendo las extremidades, y se evaluó el estado general (condición nutricional, piel, pelaje, extremidades, entre otros aspectos). Posteriormente, se realizó una incisión en la piel a

nivel de la región pélvica, extendiéndola con tijeras hasta la región cervical. La piel se separó de la musculatura, lo que permitió el acceso a la cavidad abdominal mediante el corte de los músculos correspondientes.

Finalmente, se realizó la extracción cuidadosa de hígado, corazón, riñones, pulmones, estómago y bazo, los cuales se sometieron a una evaluación macroscópica, con la finalidad de registrar la presencia de lesiones, necrosis o alteraciones patológicas visibles en cada animal, de acuerdo con las directrices de la OCDE (2002). Además, con base en los pesos de los diferentes órganos, se calculó el índice órgano-cuerpo.

4.2.2 Ensayos *in vivo* en un modelo de *C. elegans*

Para el mantenimiento, la alimentación, el lavado de cepas y los experimentos realizados en el modelo de nemátodos, se tomó como referencia lo establecido en el WormBook (Stiernagle, 2006) disponible con acceso universal. Sin embargo, a continuación, se describen, de manera general, los procesos que se llevaron a cabo para la evaluación de las actividades de esperanza de vida, termotolerancia y estrés oxidativo, así como para el mantenimiento y la sincronización de los nemátodos para su posterior experimentación.

4.2.2.1 Cultivo de *C. elegans*

Mantenimiento de la OP50 en placa

Los *C. elegans* se cultivaron proporcionando como alimento una cepa específica de *E. coli* denominada OP50, la cual es resistente a la estreptomicina y resulta adecuada para el mantenimiento de cultivos libres de contaminación. La cepa empleada se obtuvo del Laboratorio 315 de Bioquímica de Antioxidantes, de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Para el crecimiento de la cepa bacteriana se prepararon placas de agar LM, mezclando 1.25 g de medio líquido LB, 0.75 g de agar bacteriológico y 50 mL de agua destilada. Posteriormente, se esterilizó en autoclave y cuando la temperatura alcanzó 55°C, se agregaron 50 µL de estreptomicina (50 mg/mL). Se realizó un vaciado en cajas Petri de 60 mm (10 mL). Una vez que el contenido de las cajas solidificó, de una placa donde se mantuvo la OP50 y con ayuda de un asa, calentada previamente al rojo vivo, se sembró una colonia

de bacterias y se llevó a incubación a 37°C durante 16 h. Después del tiempo de incubación las placas se sellaron y se almacenaron a 4°C hasta por un mes. Pasado este tiempo, se sembró nuevamente en otra caja de Petri para mantener la cepa estable. Esto se realizó en dos ocasiones y posterior a esto (transcurridos dos meses), se descongeló una nueva colonia bacteriana para su inoculación.

Crecimiento de la OP50 en medio líquido

Para adicionar el alimento directamente en la caja, el crecimiento de la OP50 se realizó en medio líquido, para el cual, en 50 mL de agua destilada se adicionaron 1.25 g de medio líquido LB en un matraz Erlenmeyer de 250 mL. Esta mezcla se esterilizó en una autoclave. Posteriormente, cuando llegó a temperatura ambiente, se agregaron 50 µL de estreptomicina (50 mg/mL) de una placa donde se había mantenido la OP50. Por medio de un asa calentada previamente al rojo vivo, se adicionó una colonia de bacterias y se llevó a incubación a 37°C con agitación a 100 rpm durante 16 h continuas.

Una vez concluido el tiempo de incubación, se realizó una centrifugación para concentrar las bacterias hasta obtener 15 mL. Posteriormente, este concentrado se adicionó en las cajas Petri donde se colocaron los animales. Dependiendo de la capacidad de la caja, las porciones agregadas fueron las descritas en la Tabla 18.

Tabla 18. Cantidad de OP50 concentrada en cajas de mantenimiento de *C. elegans*.

Tamaño de caja, mm	Concentrado de OP50, µL	Volumen de agar, mL
3	100	3
6	300	6
60	600	10

Congelación de la OP50

Una vez que la bacteria creció en una placa, se adicionaron 400 µL de glicerol al 50% y se lavaron las colonias bacterianas. Esta solución se colocó en un microtubo para congelación y se llevó a una temperatura de -80°C. Estas colonias bacterianas se emplearon para

reemplazar las que se siembran cada dos meses, con la finalidad de evitar la contaminación y la degeneración de la cepa, fuente de alimento para este modelo animal.

Preparación de medio para el mantenimiento de los *C. elegans*

Para preparar el medio de crecimiento se preparó una mezcla de agar bacteriológico (20 g), NaCl (3 g), peptona (2.5 g) y agua destilada (1 L). Esta mezcla se colocó en un frasco con cierre hermético y se agitó con una parrilla de agitación y un agitador magnético durante 15 min o hasta que se obtuviera una solución homogénea. Posteriormente, la mezcla se esterilizó en un autoclave en un ciclo completo, y cuando la temperatura bajó a aproximadamente 55°C se realizó la adición de los reactivos que se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Reactivos para preparar 1 L de medio de crecimiento para *C. elegans* después de la esterilización.

Solución	Volumen añadido al medio	Concentración final
Buffer de fosfatos (1 M, pH 6)	25 mL	40 mM
Sulfato de magnesio (1 M)	1 mL	1 mM
Cloruro de calcio (1 M)	1 mL	1 mM
Colesterol (5 mg/mL)	1 mL	5 mg/L
5-fluoro-2' desoxiuridina FUdR (50 mg/mL)*	250 µL	51 µM

*Si el experimento lo requiere.

Todas las soluciones utilizadas para preparar el medio (Tabla 19) se filtraron mediante una membrana con un tamaño de poro de 0.2 µm para garantizar la eliminación de contaminantes. Posteriormente, la mezcla se vació en las cajas Petri para realizar los experimentos y el mantenimiento de los *C. elegans*, cuidando de eliminar toda la formación de burbujas, para que este se considere un medio apto para los animales.

Una vez que el contenido de las cajas se solidificó, se adicionó la cantidad de OP50 (en medio líquido) indicada en la Tabla 19, siempre en el centro de la caja, para evitar que los animales trepan por las paredes y murieran. Luego, se continuó con un ciclo de radiación UV en una campana de flujo laminar hasta que el concentrado de OP50 adquiriera una

aparición sólida. Tras estos procesos, se transfirieron a los nemátodos para su mantenimiento y/o experimentos.

Cepa, mantenimiento y sincronización de *C. elegans*

Para este trabajo se empleó la cepa salvaje de *C. elegans* denominada N2. Los nemátodos se mantuvieron a una temperatura constante de $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ y se cultivaron en medio para su mantenimiento, alimentados con OP50 como principal fuente, para los experimentos se utilizaron nemátodos obtenidos de adultos hermafroditas grávidos.

Para obtener nemátodos de la misma etapa larvaria, se realizó un lavado de las cajas cuando los animales se encontraban en etapa L4 (hermafroditas grávidos) y poniendo huevos, y se consideró que la población fuera abundante en la caja.

Posteriormente, se agregaron 3.5 mL de agua destilada, distribuidos en varias ocasiones, para retirar todo el contenido y colocarlo en un tubo Falcon de 15 mL. Luego, se adicionaron 1 mL de NaOH (1 N) y 0.5 mL de cloro comercial. Después, se agitó en vórtex cada 2 min durante 10 min, se centrifugó a 500 rpm durante 1 min y se decantó el sobrenadante hasta únicamente dejar 0.5 mL. Enseguida, se añadieron 4.5 mL de buffer M9 (Tabla 20) y se realizó este procedimiento dos ocasiones. Finalmente, se decantó el contenido hasta 100 μL y el residuo se colocó en una caja con agar de mantenimiento y OP50 concentrada.

Tabla 20. Reactivos para preparar 1 L de agar M9 empleado en la sincronización de *C. elegans*.

Reactivo	Cantidad
KH_2PO_4	3 g
Na_2HPO_4	6 g
NaCl	5 g
MgSO_4 1 M	1 mL
Agua destilada	1 L

Donde: KH_2PO_4 , fosfato monopotásico; Na_2HPO_4 , fosfato disódico; NaCl, cloruro de sodio; MgSO_4 , sulfato de magnesio; M, molar.

Los huevos fueron resistentes a este proceso de lavado, por lo que en la caja se conservaron únicamente los que eclosionaron aproximadamente 16 h después. Esto aseguró que los nemátodos resultantes pertenecieran a la misma etapa larvaria. Este proceso también se

llevó a cabo cuando alguna de las cajas con animales se contaminaba con bacterias y/u hongos, cambiando únicamente la concentración de NaOH mediante una solución 5 N.

4.2.2.2 Esperanza de vida

Para el experimento de esperanza de vida, se prepararon las cajas de mantenimiento y se adicionaron los extractos acuosos (YFA y YEA liofilizados) y etanólicos (YFE y YEE concentrados a presión reducida) en diferentes concentraciones (50, 100 y 250 mg/mL), usando etanol o agua como controles (100 μ L). Los extractos analizados se obtuvieron bajo las condiciones optimizadas planteadas en el Capítulo 3 de este trabajo. Además, las mezclas se complementaron con FUdr empleado para prevenir la puesta de huevos en la etapa fértil. De los animales sincronizados cuando llegaron a L3 se transfirieron a nuevas cajas 25 animales por cada una, con la misma preparación cada tercer día. La temperatura de mantenimiento fue de $20\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Cada 24 h se realizó un conteo estimulando táctilmente para observar el movimiento de los animales, y cada vez que se encontró un animal que no respondió a los estímulos, se retiró de la caja y se consideró deceso; se hizo un registro de supervivencia de los animales. Este procedimiento se llevó a cabo hasta que el control no presentó ningún animal con vida. El experimento se realizó por duplicado, obtenido una N de 120 ± 5 animales por grupo.

Los datos se revisaron estadísticamente mediante un análisis de Kaplan-Meier y un test de Long-Rank de Mantel-Cox para determinar la vida media de los grupos control y con tratamiento e indicar si existe una diferencia significativa en la esperanza de vida entre los grupos experimentales y los controles.

4.2.2.3 Termotolerancia crónica

Para la realización de los experimentos crónicos, se seleccionaron las concentraciones que incrementaron significativamente la vida media de los nemátodos en el ensayo de esperanza de vida: YFA (250 mg/mL) y YEA (50 mg/mL). Para estos tratamientos, se prepararon las placas de agar de mantenimiento (sección 4.2.2.2) y se colocaron 20

nemátodos en estadio L4 por placa, utilizando dos placas por grupo experimental. Los animales se mantuvieron en tratamiento durante 3 días a una temperatura de $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

Posteriormente, los nemátodos se sometieron a estrés térmico, consistente en incrementar la temperatura a 33°C . Durante este período, la supervivencia se evaluó cada 2 h, hasta que el grupo control quedó sin individuos vivos. La curva de supervivencia se construyó mediante el método de Kaplan–Meier y las diferencias entre los grupos se analizaron mediante la prueba de Log-rank (Mantel–Cox), con el fin de identificar diferencias significativas en la vida media de los distintos tratamientos.

4.2.2.4 Estrés oxidativo

Para observar la respuesta a un estrés oxidativo, se realizaron con las mismas concentraciones de los extractos descritos en la sección 4.2.2.4, los agares de mantenimiento se prepararon de la misma forma que en la sección 4.2.2.2, transfiriendo 20 animales (L3) a cada caja (dos cajas por grupo) manteniéndolos a una temperatura de $20 \pm 5^\circ\text{C}$. Posterior a 3 días en contacto con los extractos, los animales se transfirieron a una caja de agar con mantenimiento con peróxido de hidrógeno (200 mM), el cual se empleó como estresante oxidativo. Después, se realizó un conteo de supervivencia cada 2 h, estimulando mecánicamente a los nemátodos. El experimento se detuvo cuando los animales del grupo control murieron. Los datos se analizaron mediante una curva de supervivencia de Kaplan-Meier y un análisis de Long-Rank de Mantel-Cox para evaluar diferencias significativas en la vida media de los nemátodos.

4.3 Resultados y discusión

4.3.1 Dosis letal media

Ninguno de los extractos (acuoso, etanólico y diclorometánico) de las dos variedades de flores de palma (YFA, YEA, YFE, YEE, YFD y YED), en la prueba de dosis letal media (DL_{50}) en el modelo murino, indujo signos o síntomas evidentes de toxicidad.

Únicamente se presentó una anomalía en uno de los individuos del grupo tratado con el extracto diclorometánico de *Y. filifera* (YFD), en el que se observó letargo y somnolencia a los 30 min posteriores a la administración. No obstante, a las 2 h el animal recuperó su

comportamiento normal. Por lo tanto, debido al comportamiento normal, la forma de alimentarse y la exploración post mortem de los órganos diana, se puede sugerir que los extractos a la dosis máxima (2000 mg/kg) son seguros para su consumo.

En la Tabla 21 se presenta el efecto de los extractos de flores de palma (*Y. filifera* y *Y. elephantipes*) sobre el índice órgano-cuerpo (%) en la prueba de dosis letal media en ratones.

Tabla 21. Efecto de los extractos de flores de palma sobre el índice órgano-cuerpo (%) en la prueba de dosis letal media en ratones.

Órgano	Índice de peso corporal de los órganos						
	YFA	YFE	YFD	YEA	YEE	YED	Control
Riñones	1.78±0.08 ^{BC}	2.07±0.0 ^{AB}	1.75±0.12 ^C	1.84±0.04 ^{BC}	1.97±0.144 ^{BC}	1.66±0.01 ^C	2.39±0.19 ^A
Hígado	7.07±0.01 ^A	6.38±0.16 ^A	4.99±3.04 ^A	6.77±0.24 ^A	6.38±0.74 ^A	6.75±0.39 ^A	6.98±0.67 ^A
Estómago	1.31±0.31 ^A	1.10±0.11 ^A	1.06±0.19 ^A	0.96±0.25 ^A	0.97±0.10 ^A	0.84±0.01 ^A	0.94±0.20 ^A
Bazo	0.38±0.05 ^A	0.38±0.02 ^A	0.39±0.06 ^A	0.40±0.06 ^A	0.41±0.09 ^A	0.42±0.01 ^A	0.32±0.08 ^A
Corazón y pulmones	1.52±0.15 ^A	1.39±0.16 ^A	1.62±0.14 ^A	1.44±0.21 ^A	1.55±0.24 ^A	1.54±0.23 ^A	1.35±0.15 ^A
Peso corporal (g)	37.0±2.6 ^A	35.67±3.7 ^A	36.67±5.6 ^A	38.67±5.0 ^A	33.66±1.5 ^A	37.0±0.0 ^A	37.0±2.6 ^A

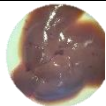
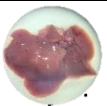

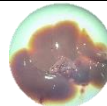
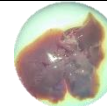
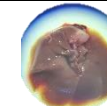
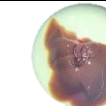
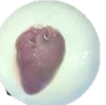




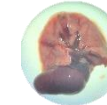

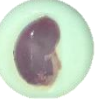



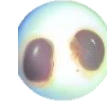
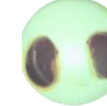
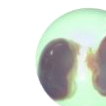





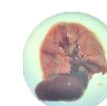
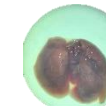



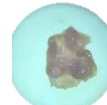


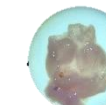







Índice órgano-cuerpo=(peso del órgano×100)/peso corporal. Extractos de *Y. filifera*: YFA (acuoso), YFE (etanólico) y YFD (diclorometánico). Extractos de *Y. elephantipes*: YEA (acuoso), YEE (etanólico) y YED (diclorometánico). Los extractos se administraron a una dosis de 5000 mg/kg. Los valores son la media ± DE (n = 3). Las letras A–C indican diferencias significativas entre los grupos ($p < 0.05$).

Asimismo, durante la inspección macroscópica de los órganos diana (hígado, corazón, riñones, pulmones, estómago y bazo), no se identificaron alteraciones tisulares ni cambios en la coloración, la forma o la textura. Todos los órganos presentaron un aspecto macroscópico normal (Tabla 22).

Sin embargo, al calcular el índice órgano-cuerpo, se observó una disminución significativa en todos los grupos tratados con los extractos de flores de palma en comparación con el grupo control. El peso de los riñones presentó una disminución más pronunciada en los grupos tratados con los extractos diclorometánicos (YFC y TEC), probablemente se pueda relacionar con una diferencia en la hidratación, ya que de manera macroscópica no se observaron lesiones en los tejidos ni presencia de cambios en la coloración, por lo que no se puede inferir un daño renal causado por la administración del extracto.

No obstante, estos efectos aún no se pueden dilucidar debido a que no se realizaron pruebas que permitieran identificar algún daño renal. Si bien, la evaluación de la DL_{50} no implica la evaluación de enzimas u otros factores para detectar daño, se plantea como una oportunidad o posible línea de investigación posterior.

Tabla 22. Disección postratamiento en un modelo murino tras exposición a extractos de flores de palma en prueba de toxicidad.

Órgano	Muestra/Tratamiento						
	Control	YFA	YFE	YFC	YEA	YEE	YEC
Hígado							
Corazón							
Riñón							
Pulmón							
Estómago							
Bazo							

Extractos de *Y. filifera*: YFA (acuoso), YFE (etanólico) y YFD (diclorometánico). Extractos de *Y. elephantipes*: YEA (acuoso), YEE (etanólico) y YED (diclorometánico). Los extractos se administraron a una dosis de 5000 mg/kg.

4.3.2 Esperanza de vida en un modelo de *C. elegans*

Los experimentos que miden la esperanza de vida en nemátodos se realizan con el fin de observar si los compuestos naturales y/o fármacos pueden aumentar el tiempo de vida útil. En este trabajo se probaron los extractos a diferentes concentraciones (50, 100 y 250 mg/mL). En la Figura 7 se presentan las curvas de supervivencia de los nemátodos que se trataron con el extracto acuoso de *Y. filifera* (YFA). En la Tabla 22 se puede observar que los animales con tratamiento en la dosis más alta aumentaron un 18.18% la vida media, además, en el resto de los grupos se observó un aumento del 9.09%.

Tabla 23. Efecto de los extractos de *Y. filifera* (YFA y YFE) en la vida media de *C. elegans*.

Tratamiento	Concentración, mg/mL	Parámetro	
		Vida media, días	% de aumento ^a
Control	---	11	
YFA	50	12*	9.09
	100	12*	9.09
	250	13*	18.18
Control	---	14	
YFE	50	15*	7.14
	100	11	0
	250	14	0

Análisis de Kaplan-Meier, con un Log-Rank Mantel Cox. *Indica diferencia significativa. YFA, extracto acuoso de *Y. filifera*, se liofilizó y resuspendió en las concentraciones indicadas. YFE, extracto etanólico de *Y. filifera*, se concentró a presión reducida y resuspendió en las concentraciones indicadas. ^aPorcentaje de aumento comparado con el grupo control.

Resulta importante la medición de la vida media porque, a partir de este experimento, se pueden identificar las dosis que tienen un mayor impacto en los animales, para posteriormente realizar experimentos que permitan conocer la vía por la cual los extractos pueden ejercer un efecto de incremento en la vida de los nemátodos (Asthana et al., 2016). No obstante, se ha documentado que en los seres humanos la heredabilidad de la longevidad es menor al 10%, ya que depende del estilo de vida, que incluye la alimentación, la actividad física, el sueño y la presencia de enfermedades (Martel et al., 2020).

Actualmente, la población envejecida se ha incrementado, lo que se relaciona con un aumento de las enfermedades asociadas al deterioro del organismo, por lo que identificar

estrategias que mejoren la calidad de vida es esencial para reducir el impacto negativo en la salud pública (Phelps et al., 2025).

En modelos de *C. elegans* se ha planteado la teoría de la xenohormesis, según la cual los metabolitos obtenidos de forma natural, como los polifenoles de origen vegetal, podrían desempeñar un papel evolutivo, ya que podrían estimular las vías protectoras en los organismos que los consumen (Kircheweger et al., 2023). Por lo cual, esta perspectiva podría estar relacionada con los compuestos naturales extraídos de las flores de palma encontrados en el extracto acuoso de *Y. filifera* (YFA) demostró un incremento en la vida media del modelo animal.

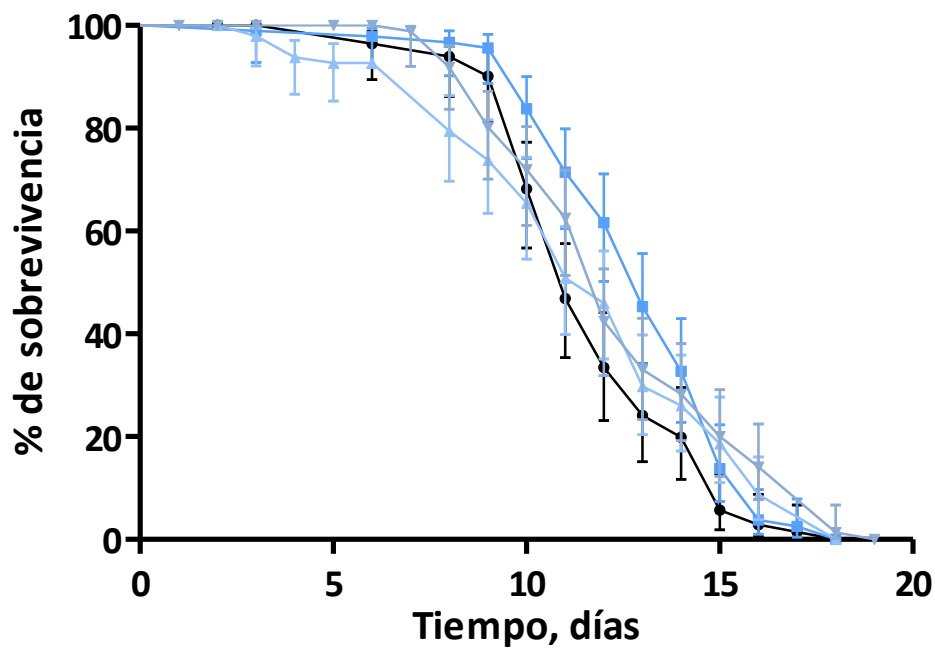


Figura 7. Efecto de los extractos acuosos de *Y. filifera* en la esperanza de vida de los *C. elegans*. Donde: —■— control, —▼— YFA (50 mg/mL), —▲— YFA (100 mg/mL), y —■— YFA (250 mg/mL). YFA: *Y. Filifera* extracto acuoso. La figura representa la curva de supervivencia de los nemátodos cepa salvaje N2, N=120±5 por grupo.

Por otro lado, se evaluó el extracto etanólico de esta misma variedad (*Y. filifera*, YFE). En los porcentajes de incremento en la vida media se observó un efecto de hormesis, lo que indica que cuando la exposición al tratamiento fue más alta, el tratamiento no surtió efecto

alguno; sin embargo, cuando la exposición disminuyó la cantidad del extracto, el efecto positivo se presentó aumentando en un 7.14% (Tabla 22) la vida media de los nemátodos. Se ha reportado con anterioridad el incremento en la esperanza de vida de los nemátodos por efecto del tratamiento de los animales con extractos de flores comestibles. Moliner y colaboradores (2018) reportaron que un extracto etanólico de *Tagetes erecta* L. incrementó la esperanza de vida en *C. elegans*, lo que sugiere un efecto protector. Si bien, no se ha logrado dilucidar las vías específicas por medio de las cuales el extracto incrementó la esperanza de vida, al realizar una comparación con otros ensayos similares, estos efectos influyen en la activación de los factores de transcripción relacionados con las proteínas FOXO, que a su vez se ha que están fuertemente ligados con la longevidad de los humanos y la promoción de la salud neuronal (McLaughlin et al., 2018).

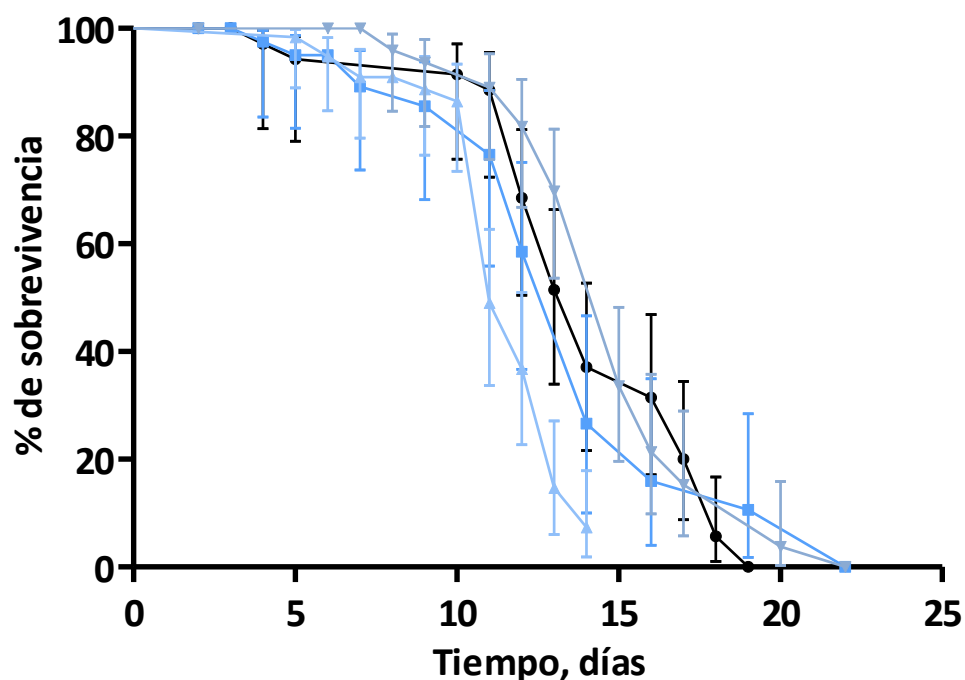


Figura 8. Efecto de los extractos etanólicos de *Yucca filifera* en la esperanza de vida de los *C. elegans*. Donde: —■— control, —▼— YFE (50 mg/mL), —▲— YFE (100 mg/mL), y —■— YFE (250 mg/mL). YFE: *Y. filifera* extracto etanólico. La figura representa la curva de supervivencia de los nemátodos cepa salvaje N2, N=120±5 por grupo.

Para los extractos de *Y. elephantipes*, el YEA presentó un comportamiento similar al descrito para el YFE, en el que se encontró un efecto mayor en la dosis de 50 mg/mL, con un 18.18% en el aumento de la vida media de los animales comparada con el control (Tabla 23). El YEA presentó efecto positivo en el incremento de la vida media de los nemátodos en todas las concentraciones. En la literatura se ha reportado que los compuestos naturales pueden aumentar la esperanza de vida de los nemátodos entre un 4 % y un 63 % (Di Rosa et al., 2020), por lo que los resultados de aumento de vida media para YEA son comparables con los reportados previamente.

Tabla 24. Efecto de los extractos de *Y. elephantipes* (YEA y YFE) en la vida media de los *C. elegans*.

Tratamiento	Concentración, mg/mL	Parámetro	
		Vida media, días	% de aumento ^a
Control	---	11	
YEA	50	13*	18.18
	100	12*	9.09
	250	13*	18.18
Control	---	9	---
YEE	50	Indefinida	NA
	100	11	22.22
	250	10	11.11

Análisis de Kaplan-Meier, con un Log-Rank Mantel Cox. *Indica diferencia significativa. YEA, extracto acuoso de *Y. elephantipes*, se liofilizó y resuspendió en las concentraciones indicadas. YEE, extracto etanólico de *Y. elephantipes*, se concentró a presión reducida y resuspendió en las concentraciones indicadas. ^aPorcentaje de aumento comparado con el grupo control.

Se han descrito múltiples causas por las que los compuestos naturales aumentan la esperanza de vida en el modelo animal *C. elegans*, entre las que más han cobrado relevancia se encuentran la restricción calórica y una dieta rica en fitoquímicos. Sin embargo, más a fondo se ha descrito la activación de la vía DAF-2, la cual corresponde al homólogo del receptor de la insulina, la activación del factor de transcripción de proteínas DAF-16, el cual tiene relación directa con la regulación de genes implicados en el crecimiento, diferenciación y longevidad celular (Martel et al., 2020).

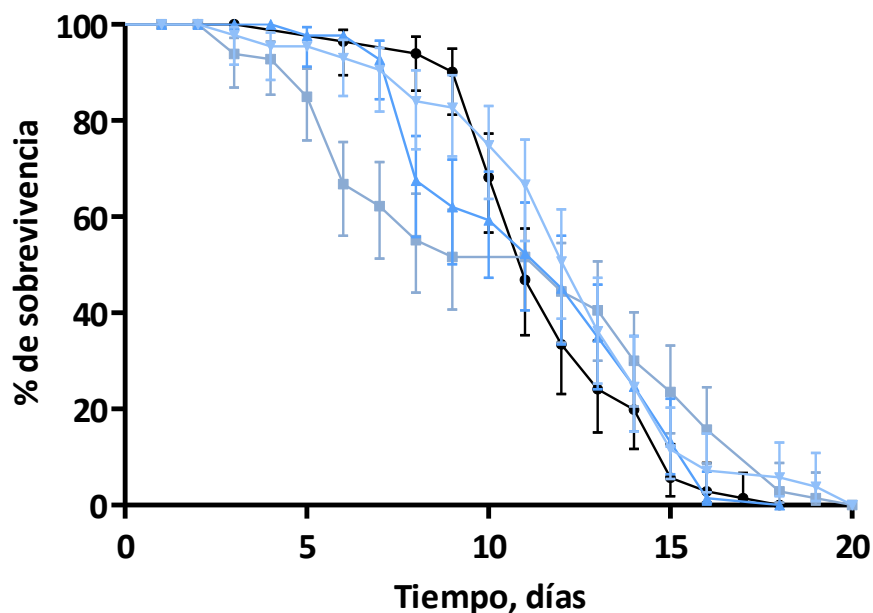


Figura 9. Efecto de los extractos acuosos de la *Yucca elephantipes* en la esperanza de vida *C. elegans*. Donde: —■— control, —▼— YEA (50 mg/mL), —▲— YEA (100 mg/mL), y —■— YEA (250 mg/mL). YFE: *Y. elephantipes* extracto acuoso. La figura representa la curva de supervivencia de los nemátodos cepa salvaje N2, N=120±5 por grupo.

Por último, el extracto etanólico de *Y. elephantipes* (YEE) presentó un incremento notable en la dosis de 100 mg/mL de hasta un 22.22% la vida media de los animales; sin embargo, se tiene que resaltar que en este experimento los resultados de la dosis menor (50 mg/mL) no fueron concluyentes, porque los datos no permitieron que el análisis de supervivencia calculara la vida media, esto atribuido a que los gusanos escapaban del medio en el que se encontraban.

Este efecto podría deberse a que las condiciones del experimento no eran favorables para el desarrollo de los animales, o, por otro lado, se podría sugerir que, al observar el comportamiento de los animales en otros experimentos, el efecto del extracto a menor dosis provocara un cambio en el medio que no fuera compatible con el modelo animal. Por lo tanto, se considera que esta dosis no produjo un efecto benéfico.

Otra posible explicación de este fenómeno en el experimento posiblemente podría estar relacionado con los efectos horméticos, ya que se observó que al disminuir la dosis del extracto ocurrió un incremento en la vida media. Pero, se ha reportado que estos efectos pueden llevar a una sobrecompensación de los mecanismos reguladores de la homeostasis proteica, y la ausencia de los efectos en la vida máxima de los gusanos podría indicar que los individuos ancianos no pueden mantener la homeostasis y se crea una pérdida de la resistencia (Espada et al., 2020), lo que probablemente ocurrió en el grupo tratado con 50 mg/mL de YEE.

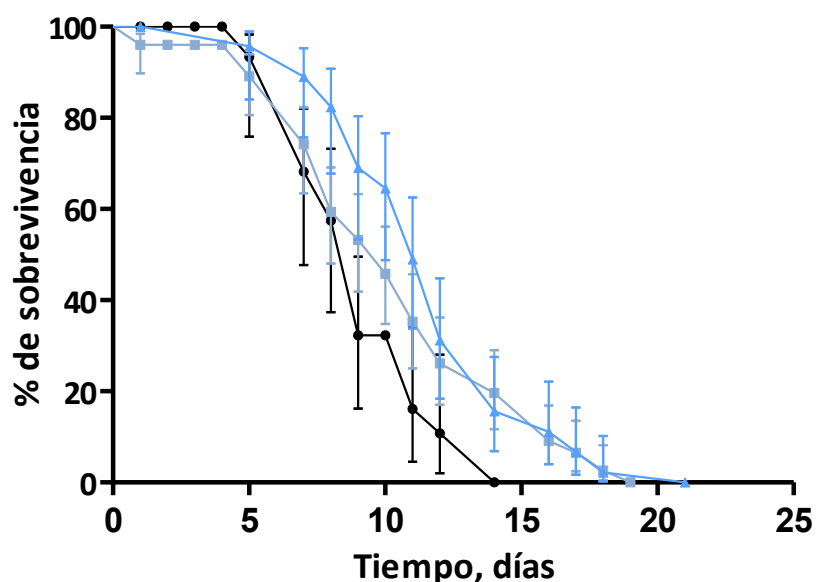


Figura 10. Efectos del extracto etanólico de *Yucca elephantipes* en la esperanza de vida de los *C. elegans*. Donde: ■ control, ▲ YEE (50 mg/mL), ▲ YEE (100 mg/mL), y ■ YEE (250 mg/mL). YEE: *Y. elephantipes* extracto etanólico. La figura representa la curva de supervivencia de los nemátodos cepa salvaje N2, N=120±5 por grupo.

Otra de las vías que se ha explorado y que contribuye a incrementar la esperanza de vida de *C. elegans* es la activación de las proteínas del choque térmico, que ocasiona la unión de proteínas que activan la transcripción de genes implicados en la respuesta al estrés, así como la activación de oxidoreductasas (superóxido dismutasa y catalasa), lo que puede llevar a la activación de procesos celulares, como la autofagia (Lee et al., 2022).

Sin embargo, algunos fitoquímicos de origen natural pueden actuar como antioxidantes evitando daños y ataques de ROS a biomoléculas importantes, además también pueden ocasionar un efecto de mitohormesis, que se refiere a la inducción de bajos niveles de ROS que inducen la activación constante de diferentes mecanismos de resistencia al estrés, como la activación de enzimas, e incluso, la formación de nuevas mitocondrias que mejoran la función celular y al mismo tiempo la longevidad (Calabrese et al., 2024).

Por otro lado, se ha descrito que la activación de la SNK-1, que tiene como homólogo el Nrf.2 que genera una protección contra el estrés oxidativo y la inflamación por medio de la contribución a la regulación en la expresión de genes antioxidantes y detoxificantes celulares (Martel et al., 2020). Las diferentes vías que siguen los compuestos naturales para aumentar la esperanza de vida se representan en la Figura 11.

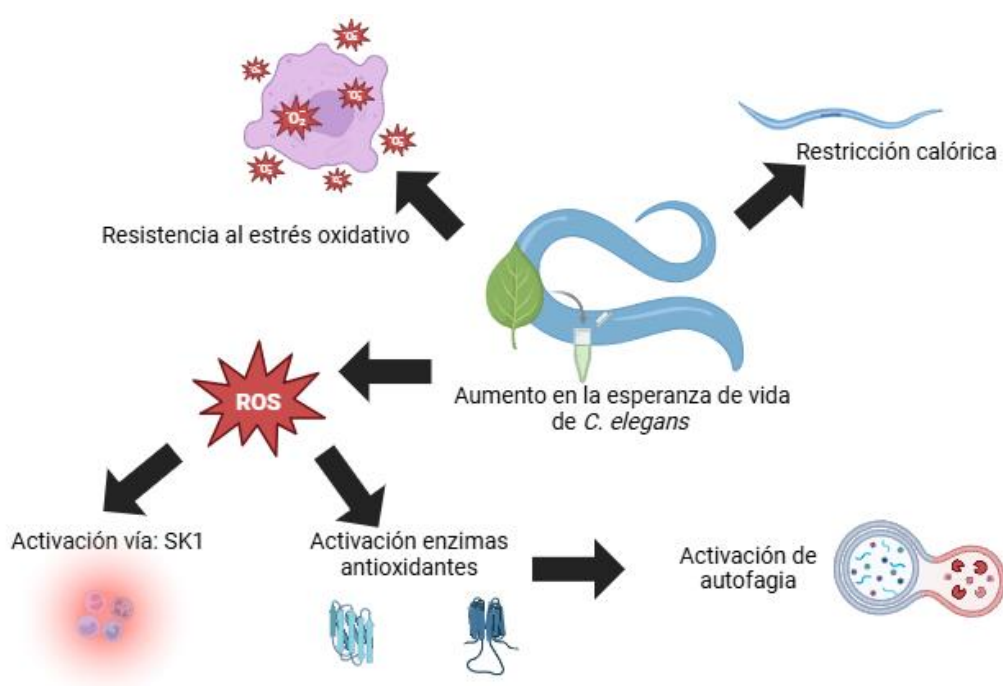


Figura 11. Mecanismos de los compuestos naturales para aumentar la esperanza de vida en los *Caenorhabditis elegans*.

4.3.4 Estrés oxidativo y termotolerancia crónica

Una vez comprobados los efectos benéficos que incrementaron la vida media de los nemátodos, se procedió a realizar pruebas experimentales de procesos crónicos para identificar las posibles vías por las cuales los extractos de flores de palma podrían generar efectos protectores en *C. elegans*.

Con base en las observaciones de los experimentos de esperanza de vida, se optó por probar los extractos acuosos a 250 mg/mL para *Y. filifera* (YFA) y a 50 mg/mL para *Y. elephantipes* (YEA). Se implementaron las exposiciones al estrés térmico por medio del incremento de la temperatura y el estrés oxidativo con peróxido de hidrógeno. El aumento en el porcentaje de vida respecto al grupo control se presenta en la Tabla 25.

Tabla 25. Efecto de los extractos acuosos de *Y. filifera* y *Y. elephantipes* en la termotolerancia crónica y estrés oxidativo de *C. elegans*.

Estresante crónico	Tratamiento ^a	Concentración, mg/mL	Parámetro	
			Vida media, h	% aumento ^b
Oxidativo	Control	---	3	---
	YFA	250	5*	66
	YEA	50	5*	66
Térmico	Control	---	6	---
	YFA	250	8*	33
	YEA	50	8*	33

Análisis de Kaplan-Meier, con un Log-Rank Mantel Cox. *Indica diferencia significativa. YFA, extracto acuoso de *Y. filifera*; YEA, extracto acuoso de *Y. elephantipes*. ^aPara el tratamiento los extractos se liofilizaron y resuspendieron a las concentraciones indicadas. ^bPorcentaje de aumento comparado con el grupo control.

Los animales tratados con los extractos de flores de palma mejoraron la resistencia al estrés oxidativo, detectando un aumento del 66% en la vida media. Los extractos de ambas variedades produjeron el mismo incremento (Tabla 25).

El efecto de YFA y YEA en la mejora de la supervivencia de los nemátodos podría explicarse por la alta concentración de compuestos fenólicos que contienen, ya que estos compuestos tienen actividad antioxidante y actúan sobre las ROS, lo que tiene un efecto sinérgico con las enzimas antioxidantes, tales como la superóxido dismutasa (SOD) y la calatasa, sobre todo cuando se comparan con el tratamiento control (Figura 12).

Las ROS pueden inducir daño celular mediante mecanismos como la peroxidación del ADN, de proteínas y de lípidos, por lo que el estrés oxidativo se ha considerado un desencadenante de enfermedades con graves afectaciones en los individuos, como el cáncer, las patologías cardiovasculares y los trastornos neurológicos (Feng et al., 2017).

Desde hace décadas, el efecto de los antioxidantes se ha descrito en la literatura, ya que principalmente se genera la supresión de la producción de ROS y los efectos protectores frente a las enfermedades. Por ejemplo, se ha probado que en un modelo de *C. elegans* expuestos a fracciones de compuestos polifenólicos de *Cnidium officinale* Makino, hubo un incremento del 38% en la tasa de supervivencia horaria, esto mediante un análisis de la actividad de la superóxido dismutasa (SOD) y calatasa (enzimas con actividad antioxidante), lo que sugiere una estimulación de las actividades de estas enzimas que da como resultado un incremento de resistencia frente a los agentes oxidantes (Kim et al., 2024).

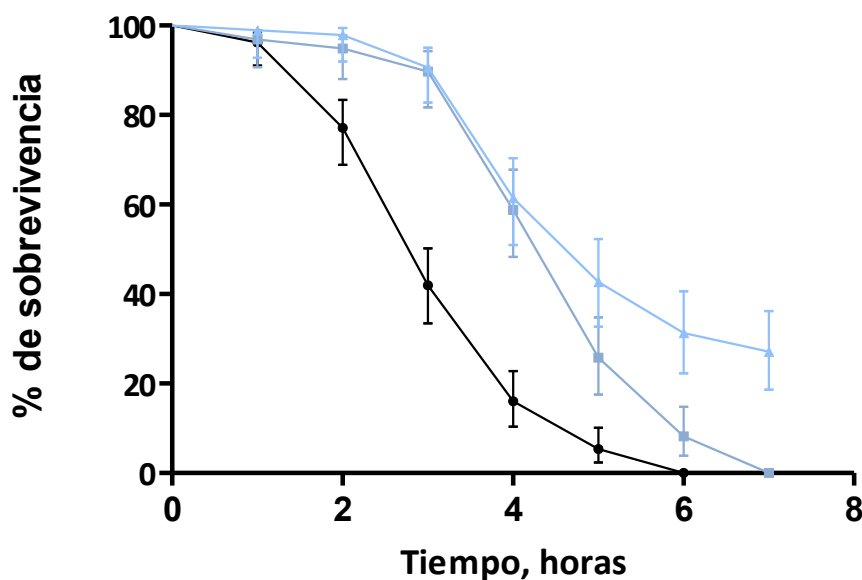


Figura 12. Curva de supervivencia de los nemátodos *C. elegans*, cepa salvaje N2 (N=120±5 por grupo), bajo estrés oxidativo crónico, tratados con extractos acuosos de *Yucca* spp. Donde: —■— control, —▲— YEA (50 mg/mL) y —■— YFA (250 mg/mL). YFA, extracto acuoso de *Y. filifera*; YFE, extracto acuoso de *Y. elephantipes*.

Por otro lado, durante los experimentos de termotolerancia crónica, los nemátodos que tuvieron una exposición a los extractos acuosos de flores de palma incrementaron hasta un 33% la supervivencia horaria (Figura 13). La vía específica mediante la cual este efecto ejerce su actividad puede relacionarse con la activación de los factores de las proteínas del choque térmico.

En estudios previos, se ha reportado que los nemátodos expuestos a temperaturas por arriba de 25°C son susceptibles a cambios importantes en su fisiología normal, como la integridad tisular y celular, y pueden acortar la esperanza de vida, como parte de la respuesta al estrés provocado por el incremento en la temperatura del medio donde se desarrollan. Se ha observado la activación del factor de choque térmico (HSF-1) como respuesta principal para mantener la homeostasis proteica, este factor se une a los promotores de genes inducidos por el calor y provoca la expresión de proteínas del choque térmico, chaperonas que son implicadas en procesos moleculares, las cuales tienen como principal función eliminar la toxicidad de las proteínas mal plegadas, lo que suele generar la neurodegeneración en el envejecimiento, por lo que la activación de este factor podría beneficiar este proceso (Rubio-Tomás et al., 2024).

Además, se ha encontrado que el tratamiento con un extracto de brotes florales de *Dendrobium officinale* incrementó hasta un 50% la vida media de los nemátodos, y se propone que el efecto se generó gracias a la activación de la vía SNH-1 y/O y la activación de la vía de la insulina/IGF que regula los factores de DAF-16 (Wang et al., 2022).

Kim y colaboradores (2024) realizaron el tratamiento de los *C. elegans* con las fracciones polifenólicas de *Cnidium officinale* Makino, encontrando un incremento de hasta 18% en la tasa de vida horaria frente a temperaturas elevadas. Debido a ello, se les puede atribuir a los extractos de plantas y/o flores, como los empleados en este experimento, una actividad de protección frente al estrés térmico.

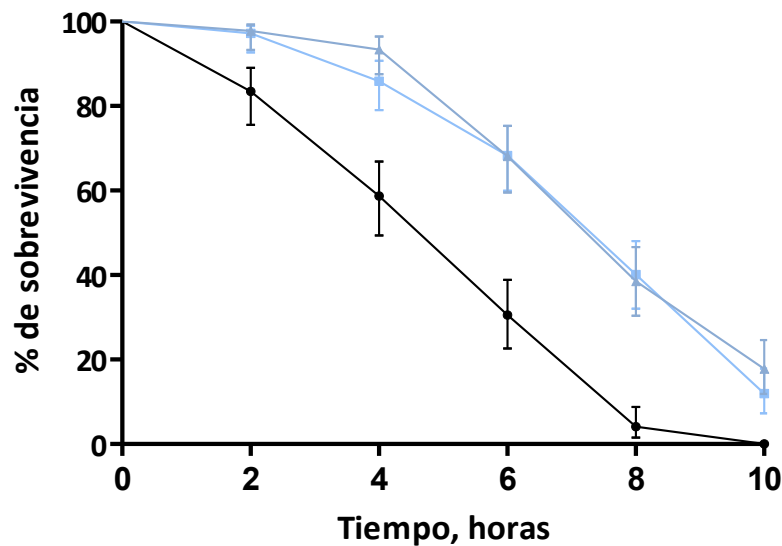


Figura 13. Curva de supervivencia de los nemátodos *C. elegans*, cepa salvaje N2 (N=120±5 por grupo) bajo estrés térmico crónico, tratados con extractos acuosos de *Yucca* spp. Donde: —■— control, —▲— YEA (50 mg/mL) y —■— YFA (250 mg/mL). YFA, extracto acuoso de *Y. filifera*, YFE: extracto acuoso de *Y. elephantipes*.

4.4 Conclusiones

Los extractos optimizados (acuoso, etanólico y diclorometánico) de las dos variedades de flor de palma (*Y. filifera* y *Y. elephantipes*) no presentaron signos o síntomas de toxicidad en el modelo murino, considerando como segura la dosis máxima de 2000 mg/kg de peso.

La disminución del peso de los riñones sugiere un cambio en los animales tratados, por lo que se requieren más investigaciones sobre este fenómeno observado.

Los extractos acuosos de las dos variedades de flores de palma mostraron un efecto positivo al incrementar la vida media hasta en un 18 %, además de mejorar la termotolerancia crónica y la respuesta frente al estrés oxidativo. Estos resultados son prometedores por el posible potencial como agentes con propiedades protectoras y moduladoras del envejecimiento celular.

Referencias

- Asthana, J., Mishra, B. N., & Pandey, R. (2016). Acacetin promotes healthy aging by altering stress response in *Caenorhabditis elegans*. *Free Radical Research*, 50(8), 861-874. <https://doi.org/10.1080/10715762.2016.1187268>
- Calabrese, E. J., Nascarella, M., Pressman, P., Hayes, A. W., Dhawan, G., Kapoor, R., Calabrese, V., & Agathokleous, E. (2024). Hormesis determines lifespan. *Ageing Research Reviews*, 94, 102181. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2023.102181>
- Calabrese, V., Wenzel, U., Piccoli, T., Jacob, U. M., Nicolosi, L., Fazzolari, G., Failla, G., Fritsch, T., Osakabe, N., & Calabrese, E. J. (2024). Investigating hormesis, aging, and neurodegeneration: From bench to clinics. *Open Medicine*, 19(1), 20240986. <https://doi.org/10.1515/med-2024-0986>
- Di Rosa, G., Brunetti, G., Scuto, M., Salinaro, A. T., Calabrese, E. J., Crea, R., Schmitz-Linneberger, C., Calabrese, V., & Saul, N. (2020). Healthspan Enhancement by Olive Polyphenols in *C. elegans* Wild Type and Parkinson's Models. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(11), 3893. <https://doi.org/10.3390/ijms21113893>
- Espada, L., Dakhovnik, A., Chaudhari, P., Martirosyan, A., Miek, L., Poliezhaieva, T., Schaub, Y., Nair, A., Döring, N., Rahnis, N., Werz, O., Koeberle, A., Kirkpatrick, J., Ori, A., & Ermolaeva, M. A. (2020). Loss of metabolic plasticity underlies metformin toxicity in aged *Caenorhabditis elegans*. *Nature Metabolism*, 2(11), 1316-1331. <https://doi.org/10.1038/s42255-020-00307-1>
- Feng, C., Yang, M., Lan, M., Liu, C., Zhang, Y., Huang, B., Liu, H., & Zhou, Y. (2017). ROS: Crucial Intermediators in the Pathogenesis of Intervertebral Disc Degeneration. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017(1), 5601593. <https://doi.org/10.1155/2017/5601593>
- Hernández-Cruz, E. Y., Eugenio-Pérez, D., Ramírez-Magaña, K. J., & Pedraza-Chaverri, J. (2023). Effects of Vegetal Extracts and Metabolites against Oxidative Stress and Associated Diseases: Studies in *Caenorhabditis elegans*. *ACS Omega*, 8(10), 8936-8959. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c07025>

- Kim, H., Mun, J., Oh, S., & Kim, J. (2024). Antioxidant and Longevity-Related Properties of the Ethyl Acetate Fraction of *Cnidium officinale* Makino in *Caenorhabditis elegans*. *Preventive Nutrition and Food Science*, 29(3), 311-320. <https://doi.org/10.3746/pnf.2024.29.3.311>
- Kirchweger, B., Zwirchmayr, J., Grienke, U., & Rollinger, J. M. (2023). The role of *Caenorhabditis elegans* in the discovery of natural products for healthy aging. *Natural Product Reports*, 40(12), 1849-1873. <https://doi.org/10.1039/d3np00021d>
- Lee, S., Lim, W., Van Le, V., Ko, S., Kim, B., Oh, H., & Ahn, C. (2022). Lifespan extension and antioxidant effects of carotenoid pigments in *Caenorhabditis elegans*. *Bioresource Technology Reports*, 17, 100962. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.100962>
- Li, S., Wang, J., Zhang, L., Zheng, Y., Ma, G., Sun, X., & Yuan, J. (2022). Preparation of *Dendrobium officinale* Flower Anthocyanin and Extended Lifespan in *Caenorhabditis elegans*. *Molecules*, 27(23), 8608. <https://doi.org/10.3390/molecules27238608>
- Martel, J., Wu, C., Peng, H., Ko, Y., Yang, H., Young, J. D., & Ojcius, D. M. (2020). Plant and fungal products that extend lifespan in *Caenorhabditis elegans*. *Microbial Cell*, 7(10), 255–269. <https://doi.org/10.15698/mic2020.10.731>
- McLaughlin, C. N., & Broihier, H. T. (2018). Keeping Neurons Young and Foxy: FoxOs Promote Neuronal Plasticity. *Trends in Genetics: TIG*, 34(1), 65–78. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2017.10.002>
- Moliner, C., Barros, L., Dias, M. I., López, V., Langa, E., Ferreira, I. C., & Gómez-Rincón, C. (2018). Edible Flowers of *Tagetes erecta* L. as Functional Ingredients: Phenolic Composition, Antioxidant and Protective Effects on *Caenorhabditis elegans*. *Nutrients*, 10(12), 2002. <https://doi.org/10.3390/nu10122002>
- Mondal, S., Ghosh, D., Sagar, N., & Ganapaty, S. (2016). Evaluation of Antioxidant, Toxicological and wound healing Properties of *Hibiscus rosa-sinensis* L. (*Malvaceae*) ethanolic leaves extract on different Experimental animal models. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 50(4), 620-637. <https://doi.org/10.5530/ijper.50.4.15>

- Moreno-Arriola E, Cárdenas-Rodríguez N, Coballase-Urrutia E, Pedraza-Chaverri J, Carmona-Aparicio L, Ortega-Cuellar D. (2014) *Caenorhabditis elegans*: A Useful Model for Studying Metabolic Disorders in Which Oxidative Stress Is a Contributing Factor. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. <https://doi.org/10.1155/2014/705253>
- Morton, E. A., & Lamitina, T. (2012). *Caenorhabditis elegans* HSF-1 is an essential nuclear protein that forms stress granule-like structures following heat shock. *Aging Cell*, 12(1), 112–120. doi:10.1111/accel.12024
- Mudd, N., Martin-Gonzalez, F. S., Ferruzzi, M., & Liceaga, A. M. (2022). In vivo antioxidant effect of edible cricket (*Gryllobates sigillatus*) peptides using a *Caenorhabditis elegans* model. *Food Hydrocolloids for Health*, 2, 100083. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2022.100083>
- Organization for Economic Co-operation and Development OECD. (2002). Test no. 423: acute oral toxicity-acute toxic class method. OECD Publishing. Disponible en: [Test No. 423: Acute Oral toxicity - Acute Toxic Class Method | OECD](https://www.oecd.org/423)
- Phelps, G. B., Morin, J., Pinto, C., Schoenfeldt, L., Guilmot, S., Ocampo, A., & Perez, K. (2025b). Comprehensive evaluation of lifespan-extending molecules in *C. elegans*. *Aging Cell*, 24(4), e14424. <https://doi.org/10.1111/accel.14424>
- Rubio-Tomás, T., Alegre-Cortés, E., Lionaki, E., Fuentes, J. M., & Tavernarakis, N. (2024). Heat shock and thermotolerance in *Caenorhabditis elegans*: An overview of laboratory techniques. *Methods in Cell Biology*, 185, 1-17. <https://doi.org/10.1016/bs.mcb.2024.02.001>
- Stiernagle, T. Maintenance of *C. elegans* (February 11, 2006), *WormBook*, ed. The *C. elegans* Research Community, WormBook, doi/10.1895/wormbook.1.101.1, <http://www.wormbook.org>
- Wang, Y., Tong, Y., Adejobi, O. I., Wang, Y., & Liu, A. (2022). Research Advances in Multi-Omics on the Traditional Chinese Herb *Dendrobium officinale*. *Frontiers in Plant Science*, 12, 808228. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.808228>

Wanjari, M. M., Gangoria, R., Dey, Y. N., Gaidhani, S. N., Pandey, N. K., & Jadhav, A. D. (2016). Hepatoprotective and antioxidant activity of *Bombax ceiba* flowers against carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in rats. *Hepatoma Research*, 2(6), 144. <https://doi.org/10.20517/2394-5079.2015.55>

Capítulo 5: Digestibilidad *in vitro* de compuestos de interés en flores comestibles de palma

Resumen

Las flores de palma (*Yucca* spp.) son flores comestibles endémicas del estado de Hidalgo, ampliamente utilizadas en diversas preparaciones tradicionales como ingrediente principal. En estudios previos se han reportado su composición y valor nutrimental, así como la presencia de algunos metabolitos secundarios con importantes atribuciones para el mantenimiento de la salud. No obstante, existe información muy limitada sobre la biodisponibilidad de sus nutrimentos y compuestos bioactivos en el organismo, es decir, la disponibilidad para su absorción en el organismo humano. Por ello, el objetivo de este capítulo fue evaluar la digestibilidad *in vitro* de compuestos de interés (proteína, compuestos fenólicos, fitoesteroles y terpenos) en dos variedades de flor de palma (*Y. filifera* y *Y. elephantipes*), a fin de estimar su potencial de biodisponibilidad. Para lo cual, se implementó un método que imitó las condiciones de la digestión en el organismo humano, donde se realizaron tres fases: la oral, gástrica y finalmente la intestinal, posterior a ello se analizó el sobrenadante considerando esto como la parte que se encuentra disponible para su absorción y se realizó una comparación mediante el análisis antes se someterse al proceso descrito, y los resultados se expresaron en porcentaje de digestibilidad *in vitro*. El contenido proteico, los compuestos fenólicos totales, los terpenos, los fitoesteroles, la actividad antioxidante y la eliminación de ROS se cuantificaron mediante métodos espectrofotométricos. Los resultados mostraron que la proteína presentó una digestibilidad entre 51 y 59%, lo que indica una alta disponibilidad tras el proceso digestivo. Los terpenos registraron valores de digestibilidad entre 53 y 55%, mientras que los compuestos fenólicos totales mostraron porcentajes menores, entre 25 y 38%. El análisis de la digestibilidad *in vitro* indicó que las actividades antioxidantes disminuyeron significativamente tras el proceso de digestión, lo que puede indicar una degradación de los compuestos que contribuyen a estas actividades, por acción enzimática y cambios en el pH propios de la digestión en el organismo.

Palabras clave: Flores de palma, digestibilidad *in vitro*, proteína, fenoles totales, actividad antioxidante.

5.1 Introducción

El incremento en la población, ha aumentado la demanda de la proteína animal, al ser este uno de los nutrientes esenciales; sin embargo, la preocupación por la disponibilidad y sostenibilidad de las proteínas es un problema, además de la producción de gases de efecto invernadero que se ha relacionado con la producción de proteínas de origen animal, por lo que en el área de ciencia de alimentos se han explorado nuevas fuentes de remplazo para este nutriente (Alves & Tavares, 2019).

Aunque la proteína se encuentra presente en casi todos los alimentos, es importante tener en cuenta que, para considerar un alimento como fuente proteica, se debe realizar una evaluación de la calidad nutricional, lo que incluye el efecto de la digestión. Para esto se han desarrollado simulaciones del proceso de digestión, en las cuales se puede observar cuál es el grado de hidrólisis de la proteína durante la digestión. En los procesos *in vitro* se imitan las condiciones de los procesos digestivos a través de la implementación de enzimas y se consideran métodos reproducibles que permiten la comparación de una amplia gama de alimentos (Rodríguez-Rodríguez et al., 2022).

Por otro lado, a las flores comestibles se les ha considerado fuente de diversos fitoquímicos con propiedades nutricionales o bioactivas, por lo que se ha determinado la presencia de diferentes fitoquímicos y el efecto que estos procesos de digestión producen en ellos (De Morais et al., 2020).

La presencia de fitoquímicos en flores comestibles se ha documentado con la finalidad de poder estimar sus efectos en la salud del consumidor, así como su potencial de digestibilidad, debido a que muchos de los grupos de compuestos minoritarios pueden realizar una amplia gama de bioactividades, entre las que destacan la antiinflamatoria, antioxidante, anticancerígena e incluso neuroprotectora (Zheng et al., 2020).

Sin embargo, explorar el comportamiento de estos compuestos de interés durante la digestión es un factor muy importante que puede sugerir cómo las flores comestibles pueden contribuir al mantenimiento de la salud (Hegde et al., 2023); por lo cual, el objetivo de este capítulo fue evaluar la digestibilidad *in vitro* de los compuestos de interés (proteína,

fenoles, fitoesteros y terpenos) de dos variedades de flor de palma para identificar su biodisponibilidad.

5.2 Metodología

Para evaluar la digestibilidad se empleó un método de simulación *in vitro* reportado por Ayala-Rodríguez y colaboradores (2022), con algunas modificaciones. Previamente, se prepararon soluciones de simulación salival, gástrica e intestinal (Tabla 26).

Tabla 26. Constituyentes para la preparación de una simulación de fluidos para la evaluación de la digestibilidad *in vitro*.

Constituyente	Stock, M	SFS (pH 7)		SFG (pH 3)		SFI (pH 7)	
		mL de stock por 0.4 L	mM	mL de stock por 0.4 L	mM	mL de stock por 0.4 L	mM
KCl	0.50	15.10	15.10	6.9	6.90	6.8	6.80
KH ₂ PO ₄	0.50	3.70	3.70	0.9	0.90	0.8	0.80
NaHCO ₃	1.00	6.80	13.60	12.5	25.00	42.5	85.00
NaCl	2.00	-	-	11.8	42.70	9.6	38.40
MgCl ₂ •(H ₂ O) ₆	0.15	0.50	0.15	0.4	0.12	11.0	0.33
(NH ₄) ₂ CO ₃	0.5	0.06	0.06	0.5	0.50	-	-
Para ajustar pH							
HCl	6	0.09	1.1	1.3	15.6	0.7	8.4
NaOH	1	-	-	-	-	-	-
CaCl ₂ •(H ₂ O) ₂	0.3	0.025	1.5	0.005	0.15	0.04	0.6

Donde SFS: Simulación de fluido salival, SFG: Simulación de fluido gástrico y SFI: Simulación de fluido intestinal

La evaluación de la digestibilidad consistió en tres fases: oral, gástrica e intestinal. En la Figura 14 se presenta un esquema que representa el método que se empleó.

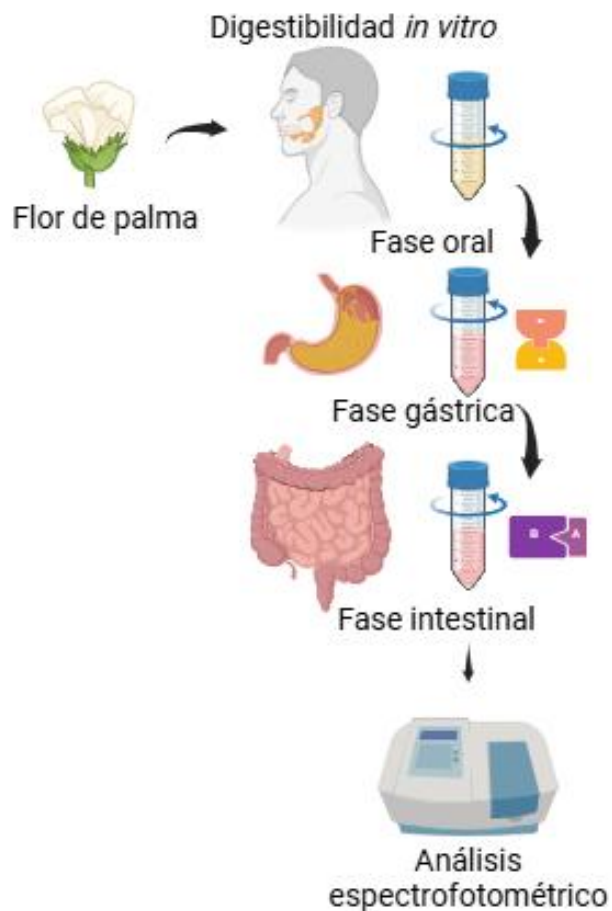


Figura 14. Fases de la evaluación de la digestibilidad *in vitro*.

5.2.1. Tratamiento de la muestra

Se partió de las harinas de los pétalos de flores de palma de las dos variedades (Sección 2.2.1). En la fase oral, se pesaron 250 mg de cada harina en un tubo Falcon de 15 mL y se adicionaron 2.5 mL de SFS, 12.5 μL de CaCl_2 y 608 μL de agua destilada. La mezcla se homogenizó en un vórtex durante 2 min, lo que constituyó la simulación del bolo alimenticio.

Transcurrido el tiempo se continuó con la fase gástrica, donde en un tubo Falcon de 15 mL se adicionaron 1.5 mL de SFG, 16 mg de pepsina (≥ 250 u/g) en 160 mL de SFG, 10 μL de CaCl_2 (0.3 M), 40 μL de HCl (1 M), 138 μL de agua destilada, a esta mezcla se le agregó 1 mL de bolo alimenticio (proveniente de la fase oral), y se mezcló en vórtex por 5 min. Después,

se ajustó el pH a 3 con HCl (1 M) y las muestras se dejaron durante dos horas en esta fase, agitando con un vórtex cada 15 min.

Por último, para la fase de digestión intestinal, en un tubo de 15 mL se colocaron 1.1 mL de SFI, 4 mg de pancreatina (4_{XUSP}) disueltos en 0.5 mL de SFI, 50 mg de sales biliares en 0.25 mL de SFI, 4 µL de CaCl₂ (0.3 M), 15 µL de NaOH (1 M), 131 µL de agua destilada, y a este fluido se le agregaron 2 mL de la digestión de la fase gástrica. Las muestras se mezclaron en vórtex hasta homogenizar, se dejaron 5 min en reposo, para posteriormente ajustar el pH a 7 con NaOH (1 M). Las muestras se dejaron en esta fase durante 2 h, agitando en vórtex cada 15 min. Transcurrido este tiempo, se inactivaron las enzimas mediante un cambio de pH a 10.5 con NaOH (1 M). Se centrifugaron a 10 000 rpm durante 10 min y el sobrenadante se almacenó a -20 °C para su análisis posterior.

Para la comparación del antes de la digestión, se colocaron 250 mg de muestra y se agregaron 3.12 mL de agua destilada. La mezcla se llevó a un baño de ultrasonido durante 10 min a temperatura ambiente. Después, se centrifugó a 10,000 rpm durante 10 min. El sobrenadante obtenido se almacenó a -20 °C para su análisis. Esta muestra se consideró como antes de la digestión. Las pruebas se realizaron por triplicado.

Finalmente, los resultados se expresaron en % de digestibilidad, tomando como el 100% calculado mediante la Ecuación 2.

$$\text{PDIV}(\%) = \frac{\text{CDD} * 100}{\text{CAD}} \quad (2)$$

Donde: PDIV, porcentaje de digestibilidad *in vitro*; CDD, compuesto después del digesto; y CAD, compuesto antes de la digestión (Brodkorb et al., 2019).

5.2.2 Determinación de proteína

5.2.2.1 Preparación de soluciones

Para determinar el contenido de proteína se empleó el método de Biuret. Primeramente, se prepararon 100 mL de la solución A a partir de la mezcla de 0.375 g de sulfato cúprico y 1.51 g de tartrato de sodio y potasio y se aforó con agua destilada. Luego, se prepararon 100 mL de solución B, compuesta por NaOH al 7.5% (m/v). Las soluciones se mezclaron y se completó el volumen a 250 mL con agua destilada (Solución de Biuret).

5.2.2.2 Cuantificación

La cuantificación de proteína se realizó mediante interpolación en una curva de calibración, la cual se construyó empleando como proteína de referencia la seroalbúmina bovina (10 mg/mL), y se prepararon diluciones de 0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 2.0 y 2.5 mg/mL. Posteriormente, se transfirieron 330 μ L de estándar o de muestra a microtubos y 1.5 mL del reactivo de Biuret, la mezcla se homogeneizó en vórtex durante 30 s. Inmediatamente, se realizó la lectura de absorbancia a 545 nm. Los resultados se expresaron en mg/mL de proteína en los extractos y en PDIV (Ecuación 2).

5.2.3 Cuantificación de fitoquímicos

Se cuantificaron los compuestos fenólicos totales y terpenos mediante los métodos espectrofotométricos descritos en la sección 3.2.1.2. Además, en cada una de estas cuantificaciones se calculó el PDIV (Ecuación 2).

5.2.4 Evaluación de la actividad antioxidante y eliminación de radicales libres

Una vez obtenidos los extractos de la prueba de digestibilidad *in vitro* se realizaron metodologías para la detección de actividad antioxidante, así como la eliminación de radicales libres (DPPH, ORAC, radical anión superóxido y radical hidroxilo) y capacidad antioxidante (FRAP) las cuales se encuentran descritas en la Sección 3.2.2. También se incluyó el cálculo del porcentaje de digestibilidad *in vitro* (PDIV).

5.2.5 Análisis estadístico

Se realizó una prueba de comparación de medias, por variedades y determinaciones, con un post hoc de Tukey ($p < 0.05$). El análisis se realizó con el software Minitab v. 22.

5.3 Resultados y discusión

5.3.1 Digestibilidad *in vitro* de compuestos de interés

Desde hace tiempo se ha empleado el término bioaccesibilidad para referirse a la concentración de metabolitos disponibles para la digestión gastrointestinal (Hegde et al., 2023). En la Tabla 27 se presentan los resultados de la digestibilidad *in vitro* de la proteína y de los fitoquímicos de interés en las flores de palma.

Tabla 27. Digestibilidad *in vitro* de componentes de interés de las flores de palma.

Muestra	Antes de digestión	Después de digestión	PDIV
Proteína (mg proteína/mL)			
<i>Y. filifera</i>	4.1±0.2 ^A	2.4±0.2 ^B	59.6±4.8 ^A
<i>Y. elephantipes</i>	5.9±0.2 ^B	2.9±0.1 ^A	51.4±2.7 ^A
Fenoles (mg EAG/L)			
<i>Y. filifera</i>	935.06±5.1 ^A	234.14±14.7 ^B	25.1±1.5 ^B
<i>Y. elephantipes</i>	874.45±14.3 ^B	365.4±20.2 ^A	41.6±1.8 ^A
Terpenos (mg EL/L)			
<i>Y. filifera</i>	20.57±1.2 ^A	11.45±1.1 ^A	55.70±5.3 ^A
<i>Y. elephantipes</i>	21.88±2.1 ^A	11.73±0.4 ^A	53.82±2.1 ^A

PDIV, porcentaje de digestión *in vitro*. Se presentan los valores como media ± DE (n = 3), ^{A-B}Las letras indican diferencia significativa entre cada una de las pruebas para cuantificación comparando los resultados por variedad, mediante una prueba post hoc de Tukey ($p < 0.05$).

En las muestras de flores comestibles de palma, los resultados de digestibilidad proteica fueron de 59.6 y 51.4% para *Y. filifera* y *Y. elephantipes*, respectivamente (Tabla 27). La evaluación del porcentaje de digestibilidad *in vitro* de las proteínas forma parte de los indicadores que denotan calidad nutricional; de hecho, los resultados para las flores de

palma fueron mayores que los reportados para la harina de haba (*Vicia faba* L.) cruda, la cual presentó un 31.34% de digestibilidad proteica (Ayala-Rodríguez et al., 2022).

La diferencia entre los porcentajes de digestibilidad proteica puede atribuirse a la interacción de las proteínas con otros componentes de la matriz alimentaria, tales como taninos, ácido fítico e inhibidores de proteasas, lo que puede reducir o incluso inhibir la digestibilidad proteica (Ohanenye et al., 2020).

Aunque en el presente trabajo no se realizó una cuantificación específica de los antinutrientes (taninos, ácido fítico e inhibidores de proteasas), los resultados de la digestibilidad *in vitro* sugieren que los compuestos detectados en el análisis fitoquímico de las flores de palma (sección 2.3.2), particularmente en los grupos de fitatos y taninos, probablemente se encuentran en concentraciones que no afectan significativamente la digestibilidad proteica.

Los compuestos fenólicos totales presentaron valores de 25.1 y 41.6% de digestibilidad para *Y. filiera* y *Y. elephantipes*, respectivamente (Tabla 27). Se observó que la *Y. elephantipes* resaltó por presentar un porcentaje más alto, lo que puede indicar que las estructuras protegen con mayor eficacia los compuestos fenólicos en esta variedad.

Los porcentajes de digestibilidad de compuestos fenólicos totales se han evaluado en flores comestibles. Hedge y colaboradores (2023) reportaron valores entre 21.81% y 31.99% en las diferentes especies de flores comestibles que analizaron, teniendo la menor digestibilidad *Bauhinia variegata* L., y la mayor digestibilidad *Tropaeolum majus* L.

Este efecto de disminución en la cantidad de compuestos fenólicos sometidos a procesos de digestión puede atribuirse a cambios en su estructura, debidos a la oxidación o incluso a la hidrólisis enzimática durante el proceso de digestión (De Morais et al., 2020).

Respecto a los terpenos, se observó que los valores del PDIV superan el 50%, lo que sugiere que una proporción considerable de estos compuestos permanece estable, incluso tras los procesos enzimáticos y los cambios de pH que ocurren durante la digestión gastrointestinal de los alimentos.

Esto puede indicar una alta resistencia a la degradación digestiva, lo que aumenta la probabilidad de que se encuentren disponibles para la absorción intestinal, con valores más altos que los de los compuestos fenólicos.

La determinación de la digestibilidad de los componentes de las flores comestibles ha sido de gran ayuda para el desarrollo de productos derivados de ellas. Por ejemplo, entre las aplicaciones que ha tenido se encuentra la propuesta de incorporar la flor de *Clitoria ternatea* al arroz (Chusak et al., 2019). Esta flor se distingue por su riqueza en compuestos fenólicos como rutina, kaempferol, delphinidina y glucósidos relacionados. La adición generó una reducción en la digestibilidad del almidón, trayendo como consecuencia una disminución en el índice glicémico de este alimento, y por ende, beneficiando a pacientes con problemática de la asimilación de carbohidratos.

El efecto de la adición de la flor de *Clitoria ternatea* también se evaluó en pan de trigo, causando una reducción en la digestibilidad de almidón, lo que se atribuyó a la interferencia con enzimas digestivas relacionadas con los carbohidratos (Chusak et al., 2018).

5.3.2 Capacidad antioxidante y eliminación de radicales libres

En la Tabla 28 se presentan los resultados de las pruebas realizadas para determinar la capacidad antioxidante y la eliminación de radicales libres en las flores de palma, así como el porcentaje de digestibilidad *in vitro*.

Respecto a la actividad por ORAC, los porcentajes de digestibilidad de *Y. filifera* y *Y. elephantipes* estuvieron por debajo del 20%, siendo mayor para *Y. elephantipes*. De acuerdo con estos resultados, se sugiere que los procesos de digestión pueden afectar de manera importante los compuestos que generan esta actividad antioxidante, aunque es importante mencionar que, si bien el porcentaje de digestibilidad es bajo, al comparar los resultados obtenidos en las otras pruebas, esta actividad fue la que obtuvo los valores mayores. Esta disminución puede relacionarse con la pérdida de compuestos fenólicos totales (Tabla 27).

Por otro lado, en la eliminación del radical hidroxilo se obtuvieron porcentajes ligeramente superiores al 98% en ambas variedades. Si bien, la IC_{50} no representa valores significativos, los componentes protectores para este radical se mantienen casi intactos después de la

digestión, lo que resulta importante ya que este radical es un agente oxidativo que daña a las biomoléculas, además, tiene la capacidad de inducir estrés oxidativo en los sistemas biológicos, que posteriormente podrían producir enfermedades asociadas al estrés oxidativo (Zhao, 2023).

Tabla 28. Actividad antioxidante y eliminación de radicales libres antes y después de la digestión *in vitro* de las flores de palma.

Muestra	Antes de digestión	Después de digestión	PDIV
ORAC (eq mM trolox)			
<i>Y. filifera</i>	4385.3±15.8 ^A	759.9±7.3 ^A	17.33±0.48 ^B
<i>Y. elephantipes</i>	3949.3±67 ^B	754.1±15 ^A	19.06±0.53 ^A
Radical hidroxilo (IC₅₀)			
<i>Y. filifera</i>	0.707±0.02 ^A	0.684±0.02 ^B	98.40±1.5 ^A
<i>Y. elephantipes</i>	0.769±0.01 ^A	0.755±0.02 ^A	98.21±1.2 ^A
FRAP (eq mM trolox)			
<i>Y. filifera</i>	1.58±0.07 ^A	0.075±0.004	4.72±0.10
<i>Y. elephantipes</i>	1.36±0.16 ^A	ND	NA
DPPH (eq mM trolox)			
<i>Y. filifera</i>	1.93±0.3 ^A	ND	NA
<i>Y. elephantipes</i>	1.63±0.9 ^A	ND	NA

PDIV: Porcentaje de digestión *in vitro*. Eq μM Trolox: equivalentes micromolares de trolox, IC₅₀: Concentración inhibitoria 50. Se presentan los valores como media ± DE (n = 3), ^{A-B} las letras indican diferencia significativa entre cada una de las pruebas antioxidantes comparando los resultados por variedad, mediante una prueba post hoc de Tukey (P < 0.05). La prueba de anión superóxido no fue detectada la actividad ni antes ni después de la digestión.

Las capacidades antioxidantes por FRAP y DPPH presentaron valores disminuidos al inicio de la evaluación, es decir, antes de la digestibilidad *in vitro*. Posteriormente, en el análisis después de la digestibilidad no se detectó la actividad antioxidante, excepto para la *Y. filifera* donde únicamente en la prueba de FRAP se observó un porcentaje de digestibilidad

de 4.72 eq mM trolox, lo que puede determinar una significativa disminución de estas actividades, que se afectaron por el proceso de digestión.

El análisis de digestibilidad *in vitro* de las capacidades antioxidantes en flores comestibles, ha sido poco explorado; sin embargo, en estudios con otras matrices alimentarias como harina de *Diospyros Kaki* (Lucas-Gonzales et al., 2016), hojas de bambú (Ma et al., 2020), y en hojas y flores de *Cannabis sativa* L. (Lanzoni et al., 2022) se han reportado disminuciones de las actividades antioxidantes en la fase final de la digestión (intestinal), la cual es la fase representada en la Tabla 28. Estos resultados se atribuyen principalmente a la degradación de compuestos protectores, como los fenólicos.

5.4 Conclusiones

Las flores de *Y. elephantipes* tienen mayor contenido en proteína y en compuestos fenólicos totales. No se encontraron diferencias significativas en el contenido de terpenos entre ambas variedades de flores de palma.

Los porcentajes de digestión más bajos se observaron en los compuestos fenólicos, por lo que se puede sugerir que, durante el proceso de digestión, estos compuestos sufren pérdidas importantes.

En cuanto a proteína y terpenos totales, los porcentajes de digestión *in vitro* superaron el 50%, lo que indica un alto potencial de digestibilidad de estos.

La capacidad antioxidante ORAC y la capacidad de eliminación del radical hidroxilo fueron las que presentaron los mejores valores posteriores a la digestibilidad *in vitro*. La capacidad reductora por FRAP y la capacidad antioxidante frente a DPPH se identificaron como las más afectadas por los procesos de digestión.

Referencias

Alves, A. C., & Tavares, G. M. (2019). Mixing animal and plant proteins: Is this a way to improve protein techno-functionalities? *Food Hydrocolloids*, 97, 105171. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.06.016>

- Ayala-Rodríguez, V. A., López-Hernández, A. A., Lomelí, M. L., González-Martínez, B. E., & Vázquez-Rodríguez, J. A. (2022). Nutritional quality of protein flours of fava bean (*Vicia faba* L.) and *in vitro* digestibility and bioaccessibility. *Food Chemistry X*, 14, 100303. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100303>
- Chusak, C., Henry, C. J., Chantarasinlapin, P., Techasukthavorn, V., & Adisakwattana, S. (2018). Influence of *Clitoria ternatea* Flower Extract on the *In Vitro* Enzymatic Digestibility of Starch and Its Application in Bread. *Foods*, 7(7), 102. <https://doi.org/10.3390/foods7070102>
- Chusak, C., Ying, J. A. Y., Zhien, J. L., Pasukamonset, P., Henry, C. J., Ngamukote, S., & Adisakwattana, S. (2019). Impact of *Clitoria ternatea* (butterfly pea) flower on *in vitro* starch digestibility, texture and sensory attributes of cooked rice using domestic cooking methods. *Food Chemistry*, 295, 646-652. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.157>
- De Morais, J. S., Sant'Ana, A. S., Dantas, A. M., Silva, B. S., Lima, M. S., Borges, G. C., & Magnani, M. (2020). Antioxidant activity and bioaccessibility of phenolic compounds in white, red, blue, purple, yellow and orange edible flowers through a simulated intestinal barrier. *Food Research International*, 131, 109046. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109046>
- Hegde, A. S., Gupta, S., Kumari, P., Joshi, R., & Srivatsan, V. (2023). Nutritional Profile, UHPLC-QTOF-IMS-Based Metabolomics, and *In-Vitro* Gastrointestinal Digestibility of Edible Flowers of the Western Himalayan Region. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4409771>
- Lanzoni, D., Skřivanová, E., Rebucci, R., Crotti, A., Baldi, A., Marchetti, L., & Giromini, C. (2023). Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of *In Vitro* Digested Hemp-Based Products. *Foods*, 12(3), 601. <https://doi.org/10.3390/foods12030601>
- Lucas-González, R., Viuda-Martos, M., Álvarez, J. A. P., & Fernández-López, J. (2018). Changes in bioaccessibility, polyphenol profile and antioxidant potential of flours obtained from persimmon fruit (*Diospyros kaki*) co-products during *in vitro*

- gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 256, 252-258.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.128>
- Ma, Y., Yang, Y., Gao, J., Feng, J., Shang, Y., & Wei, Z. (2019). Phenolics and antioxidant activity of bamboo leaves soup as affected by *in vitro* digestion. *Food and Chemical Toxicology*, 135, 110941. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110941>
- Ohanenye, I. C., Tsopmo, A., Ejike, C. E., & Udenigwe, C. C. (2020). Germination as a bioprocess for enhancing the quality and nutritional prospects of legume proteins. *Trends in Food Science & Technology*, 101, 213-222.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.003>
- Rodríguez-Rodríguez, M., Barroso, F. G., Fabrikov, D., & Sánchez-Muros, M. J. (2022). In Vitro Crude Protein Digestibility of Insects: A Review. *Insects*, 13(8), 682.
<https://doi.org/10.3390/insects13080682>
- Brodkorb, A., Egger, L., Alminger, M., Alvito, P., Assunção, R., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu-Lacanal, C., Boutrou, R., Carrière, F., Clemente, A., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Edwards, C., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Feunteun, S. L., . . . Recio, I. (2019). INFOGEST static *in vitro* simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature Protocols*, 14(4), 991-1014. <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>
- Zhao, Z. (2023). Hydroxyl radical generations form the physiologically relevant Fenton-like reactions. *Free Radical Biology and Medicine*, 208, 510-515.
<https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2023.09.013>
- Zheng, J., Lu, B., & Xu, B. (2020). An update on the health benefits promoted by edible flowers and involved mechanisms. *Food Chemistry*, 340, 127940.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127940>

Capítulo 6: Diseño de un suplemento alimenticio a base de flor de palma

Resumen

Los suplementos alimenticios son productos a base de mezclas de hierbas y/o vegetales, que pueden presentarse en una forma farmacéutica para su aplicación vía oral (tabletas, cápsulas o polvos para reconstituir), cuyo objetivo principal es aumentar la ingesta de nutrientes o compuestos bioactivos en la dieta. En la última década, el consumo de suplementos alimenticios ha aumentado, especialmente entre personas con algún padecimiento, por lo que se han desarrollado productos que buscan cubrir esas necesidades; sin embargo, en el mercado hay un sinnúmero de estos que no cuentan con respaldo científico de sus efectos benéficos para la salud. Por lo tanto, el objetivo de este capítulo fue diseñar un suplemento alimentario a base de flor de palma con potenciales beneficios para la salud. Para ello, se realizó un diseño de experimentos mediante el cual se prepararon diferentes formulaciones mezclando harina de flor de palma liofilizada (*Y. filifera* y *Y. elephantipes*), una cantidad de extracto acuoso liofilizado (YFA y YEA, debido a las actividades biológicas relevantes que mostraron) y una cantidad de excipiente (goma guar), todos integrados en cápsulas farmacéuticas de 270 mg. Como factores de respuesta se analizaron la digestibilidad *in vitro* proteica y la de compuestos fenólicos totales. Asimismo, se diseñaron el etiquetado y la forma comercial de las cápsulas. Las mejores formulaciones fueron: para *Y. filifera* 150 mg de harina, 50 mg de extracto acuoso y 40 mg de excipiente; para *Y. elephantipes* 150 mg de harina, 60 mg de extracto y 60 mg de excipiente. Ambas formulaciones presentaron porcentajes de digestibilidad superiores a 100%, lo que indica que se liberan de la harina compuestos tanto proteicos como fenólicos. El suplemento alimenticio desarrollado a base de flor de palma, nombrado Florélica® permitirá obtener los beneficios de esta flor comestible e incrementará su aprovechamiento.

Palabras clave: flor de palma, suplemento alimenticio, compuestos bioactivos, cápsulas.

6.1 Introducción

Los suplementos alimenticios han experimentado un aumento en su consumo durante la última década, y este incremento es más común entre las personas que presentan algún padecimiento (Tan & Lee, 2020). Los suplementos se han considerado productos disponibles en los comercios que complementan la dieta habitual y aportan una gran variedad de nutrientes, como vitaminas, minerales y aminoácidos (Knapik et al., 2021).

Muchos consumidores de suplementos alimenticios asocian el consumo de estos con tratamientos preventivos o correctivos de algunas patologías; sin embargo, los efectos comprobados suelen ser favorables, aunque de forma modesta (Laffin et al., 2023), por lo que se requiere información de trasfondo científico y normativas oficiales para considerar estos productos como coadyuvantes en enfermedades específicas.

Existen diferentes instancias que regulan los ingredientes y componentes que pueden considerarse para la elaboración de suplementos alimenticios. En México, la Ley General de Salud (2016) incluye los artículos 200, 202, 212, 215 y 216 como parte de la regulación de estos productos. En cuanto al etiquetado de los productos, que incluye especificaciones sobre composición, calidad, denominación y etiqueta, se ajusta a lo establecido en el artículo 215. Por otro lado, el artículo 216 establece que la finalidad principal de los suplementos alimenticios es *“incrementar la ingesta dietética total o complementaria a partir de alguno de sus componentes”*.

En cuanto a la información al consumidor, se considera de suma importancia que estos productos tengan en su etiquetado la leyenda de *“Este producto no es un medicamento”*. De forma general, el artículo 168 del Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios, establece que los suplementos alimenticios pueden estar constituidos por: carbohidratos, proteínas, aminoácidos, ácidos grasos, metabolitos, plantas, hierbas, algas, alimentos tradicionales deshidratados, y que estos se pueden considerar de forma aislada o en combinación, además de que pueden adicionarse tanto con vitaminas como con minerales. Es importante resaltar que existen algunos ingredientes considerados prohibidos para la elaboración de suplementos alimenticios, como: procaína, efedrina, yohimbina,

germanio, hormonas animales o humanas, plantas que no se permiten para infusiones o té, y sustancias reconocidas como potencialmente peligrosas para la salud (COFEPRIS, 2013).

Asimismo, el artículo 172 de la COFEPRIS señala que, para la comercialización de suplementos, es obligatorio declarar los ingredientes mediante su denominación científica en el caso de plantas y otras sustancias, además de incluir las indicaciones relativas a su forma y modo de empleo (COFEPRIS, 2013).

Las especificaciones de los suplementos alimenticios distribuidos en el país, se deben de adecuar a la normativa mexicana vigente, como lo es la NOM-251-SSA1-2009, que de manera general establece los lineamientos de higiene para el proceso de alimentos bebidas o suplementos, teniendo como principal función prevenir la contaminación y disminuir los riesgos a la salud de los consumidores, se hace inferencia a los establecimientos, higiene del personal, control de plagas y procesos sanitario.

En la literatura se han realizado sólo propuestas para suplementos alimenticios a base de algunas flores comestibles, destacando el trabajo realizado con las flores de *Sophora japonica* en un extracto etanólico con potencial terapéutico en el tratamiento de la hiperuricemia (Song et al., 2023). Por otro lado, Jakubczyk y colaboradores (2022) realizaron un análisis de la composición de fibra dietética de diferentes especies de flores comestibles (*Magnolia × soulangeana*, *Sambucus nigra* L., *Syringa vulgaris* L., *Robinia pseudoacacia*, *Forsythia × intermedia*, *Cichorium intybus* L., *Bellis perennis*, *Tussilago farfara* L., *Taraxacum officinale* F.H. Wiggers coll., *Centaurea cyanus* L., *Calendula officinalis*) y las propusieron como una buena fuente de este componente con probables funciones prebióticas para los deportistas.

Es así como los suplementos alimenticios a base de flores comestibles con respaldo científico son muy limitados, por lo que el objetivo de este capítulo fue diseñar un suplemento alimentario a base de flor de palma con potenciales beneficios para la salud.

6.2 Metodología

6.2.1 Optimización de la formulación de un suplemento alimenticio basado en flor de palma

6.2.1.1 Condiciones generales

Para el diseño experimental se propuso un suplemento encapsulado, con la finalidad de facilitar su consumo y, además, brindar protección a los compuestos de interés. Se emplearon las harinas liofilizadas de flor de palma (Sección 2.2.1) y se realizó una fortificación con el extracto acuoso de ambas variedades (YFA y YEA), debido a que fueron los que mostraron un buen ajuste al modelo matemático de optimización (Capítulo 3) y un incremento en la esperanza de vida y resistencia al estrés térmico y oxidativo en el modelo de *C. elegans* (Capítulo 4). Como excipiente, se propuso el uso de la goma guar. Las cápsulas utilizadas fueron de colágeno bovino, con un contenido neto de sólidos de 270 mg.

6.2.1.2 Diseño de experimentos

Para la propuesta del diseño del suplemento alimenticio se propuso un diseño de experimentos factorial completo de 2^3 , en el que se establecieron como factores de control: cantidad de harina (flor liofilizada, sección 2.1) y cantidad de extracto óptimo acuoso liofilizado (sección 4.1). Se establecieron tres niveles, los cuales se pueden observar en la Tabla 29. La goma guar se empleó como excipiente en cada uno de los experimentos que fuera necesario, con la finalidad de mantener un peso constante de contenido en las cápsulas de 270 mg. Este diseño experimental consistió en nueve experimentos diferentes. Las cápsulas se pesaron según las cantidades indicadas y se almacenaron en frascos de vidrio con cierre hermético para su posterior análisis.

Tabla 29. Factores de control en el diseño de experimentos tipo factorial para la obtención de un suplemento a base de flores de palma.

Factor de control	Descripción	Niveles seleccionados		
		-1	0	1
Factor A	Cantidad de harina de flor de palma ^a , mg	100	180	200
Factor B	Cantidad de extracto acuoso ^a , mg	50	60	70

^aEstas materias primas se liofilizaron.

Este procedimiento se llevó a cabo en las dos variedades de flores de palma estudiadas (*Y. filifera* y *Y. elephantipes*). Posteriormente, se analizaron los factores de respuesta (porcentajes de digestibilidad proteica y de compuestos fenólicos) con la intención de encontrar las condiciones óptimas. Cada experimento y análisis se realizaron por triplicado.

6.2.1.3 Evaluación de los factores de respuesta

Una vez obtenidas las cápsulas, se sometieron a digestión *in vitro* para comprobar la cantidad de compuestos de interés disponibles para la absorción intestinal en el organismo. El procedimiento utilizado se describe en la sección 5.2.1. Una vez realizado este proceso, se llevaron a cabo las cuantificaciones de fenoles totales (sección 3.2.1.2) y proteína (sección 5.2.2), así como el cálculo de los porcentajes de digestibilidad (sección 5.2.2).

6.2.1.4 Análisis estadístico

Partiendo de los datos obtenidos mediante la medición de los factores de respuesta, el análisis estadístico se realizó con el software Minitab v. 22, para generar las ecuaciones polinomiales de segundo grado del modelo generalizado de superficies de respuesta (Ecuación 3).

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + (AB)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (3)$$

Donde: Y_{ijk} es la respuesta observada (digestibilidad de proteína o compuestos fenólicos totales); μ es la media general del experimento; A_i es al factor A (cantidad de harina de flores de palma) en sus diferentes niveles; B_j es el factor B (cantidad de extracto acuoso YFA o FEA) en sus diferentes niveles; $(AB)_{ij}$ es la interacción de los factores A y B, y finalmente, ε_{ijk} representa el error experimental y/o la variabilidad del experimento.

6.2.2 Experimentos confirmatorios

Los experimentos confirmatorios se realizaron por triplicado bajo las condiciones optimizadas, es decir, con los niveles de los factores de control que permiten maximizar las respuestas (porcentaje de digestibilidad de compuestos fenólicos totales y de proteína).

Asimismo, para validar las formulaciones, se obtuvieron los rangos predichos mediante el modelo matemático, que se compararon con los obtenidos experimentalmente.

6.3 Resultados y discusión

6.3.1 Optimización del suplemento alimenticio

La Tabla 30 presenta la matriz de diseño de experimentos y los resultados de los factores de respuesta para ambas variedades de flores de palma (*Y. filifera* y *Y. elephantipes*). Los factores de respuesta (porcentaje de digestibilidad de compuestos fenólicos y de proteína) se emplearon debido a su importancia y actividad biológica.

Tabla 30. Matriz de diseño de experimentos de suplemento alimenticio a base de flores de palma.

Exp.	Factor de control		<i>Y. filifera</i>		<i>Y. elephantipes</i>	
	A	B	Fenoles totales*	Proteína*	Fenoles totales*	Proteína*
1	200	50	104.3	87.2	96.3	94.7
2	180	60	158.7	66.1	94.0	90.5
3	150	50	101.5	120.6	72.8	59.2
4	180	50	150.3	99.0	130.9	75.7
5	150	60	116.3	119.7	152.8	118.3
6	200	60	113.7	116.4	92.1	161.0
7	180	70	73.4	72.7	137.4	137.4
8	150	70	129.4	123.4	97.3	102.0
9	200	70	102.4	105.2	97.0	104.7

Factores de control: A, cantidad de harina de flor de palma (mg); B, cantidad de extracto acuoso liofilizado (mg). *Los resultados están dados como porcentaje de digestibilidad *in vitro*.

Aunque el contenido proteico de las flores de palma no es alto, es muy importante debido a la calidad de proteína, esto atribuido a que contiene todos los aminoácidos esenciales (Capítulo 2) y aunado al alto porcentaje de digestibilidad que presenta (Capítulo 5).

Por otro lado, se consideraron los compuestos fenólicos totales de estas variedades, que se encontraron en altas concentraciones en el extracto acuoso y que demostraron tener efectos protectores en un modelo de *C. elegans*, al aumentar la esperanza de vida y al

incrementar la resistencia al estrés térmico y oxidativo, así como una notable actividad antioxidante por ORAC, FRAP y capacidad de eliminación del radical hidroxilo (Capítulos 3 y 4).

Los resultados del modelo lineal de interacciones obtenidos a partir del análisis del diseño factorial de las cápsulas de ambas variedades se presentan en la Tabla 31. Es importante resaltar que los valores evaluados fueron los porcentajes de digestibilidad *in vitro*, con la finalidad de inferir el grado de absorción de los compuestos de interés.

Tabla 31. Resultados paramétricos de la ecuación polinomial del suplemento alimenticio a base de *Yucca* spp.

Parámetro	<i>Y. filifera</i>		<i>Y. elephantipes</i>	
	Fenoles totales	Proteína	Fenoles totales	Proteína
μ	115.63	101.15	107.17	103.73
A ₁	-3.23	20.10	0.25	-4.99
A ₂	12.34	-21.89	12.90	-4.50
A ₃	-9.12	1.79	-13.14	9.49
B ₄	0.67	1.13	-6.43	-23.39
B ₅	14.51	-0.42	2.22	11.56
B ₆	-15.18	-0.71	4.21	11.82
A ₁ *B ₁	-19.01	-1.76	-27.17	-5.96
A ₁ *B ₂	-7.19	-1.11	36.52	8.04
A ₁ *B ₃	26.20	2.87	-9.34	-2.08
A ₂ *B ₁	28.24	18.59	17.14	6.10
A ₂ *B ₂	11.84	-12.74	30.05	-25.18
A ₂ *B ₃	40.09	-5.85	12.91	19.08
A ₃ *B ₁	-9.24	-16.83	10.04	-0.14
A ₃ *B ₂	-4.65	13.85	0.312	17.14
A ₃ *B ₃	13.89	2.98	-6.47	17.00
R ²	96.48%	98.15%	98.26%	87.40%

A₁: Harina-150 mg, A₂: Harina-180 mg, A₃: Harina-200 mg, B₄ B₁: Extracto-50mg, B₅ B₂: Extracto-60 mg, B₆ B₃: Extracto-70 mg. Cada uno de estos factores es empleado en cantidad por cápsula.

En *Y. filifera* ambos factores de respuesta tuvieron un coeficiente (R^2) de correlación mayor al 90%, lo que indica que los modelos matemáticos presentaron un buen ajuste en la extracción de estos compuestos. Se observó que el Factor A (cantidad de harina de flor) en el nivel menor y máximo, así como el Factor B (cantidad de YFA) en el nivel mayor afectaron de manera negativa la extracción de fenoles, además el Factor B (cantidad de YFA) en nivel intermedio fue el que ejerció un mayor efecto positivo en la extracción de los compuestos fenólicos. Por otro lado, en la cuantificación de proteína (*Y. filifera*), la cantidad de harina en el nivel intermedio y el extracto acuoso (YFA) en el intermedio y máximo, tuvieron relación negativa, mientras que la relación positiva con mayor efecto fue la adición de 150 mg de harina de flores de palma.

En la variedad de *Y. elephantipes* se observó de igual forma un ajuste adecuado de ambos factores de respuesta, comprobado por coeficientes de correlación (R^2) mayores al 90%. Enfocado en los compuestos fenólicos totales (PDIV), el Factor A presentó un efecto negativo en su nivel medio (cantidad de harina de flor de *Y. elephantipes*), y el Factor B (cantidad de YEA) en el nivel menor, y contrariamente, el mayor efecto positivo fue el Factor A en el nivel intermedio. Sin embargo, para la cuantificación del porcentaje de digestión *in vitro* de la proteína, el Factor A en los niveles medio y máximo, así como el Factor B en el nivel menor, incidieron negativamente en la disponibilidad de los compuestos para su absorción intestinal.

Las diferencias se pueden atribuir a diferentes causas, la primera es que la cantidad de extracto acuoso en el caso de los compuestos fenólicos totales está directamente relacionada, debido a que este extracto se optimizó en base a estos compuestos. Por otro lado, nuevamente la estructura y el tejido de los pétalos pueden tener un efecto en la obtención de los compuestos de interés y, finalmente, la adición de goma guar a diferentes cantidades (con la finalidad de mantener un peso constante de 270 mg por cápsula) puede ser uno de los factores más relevantes en la protección de los compuestos de interés.

Lo anterior puede explicarse por las propiedades de la goma guar, un polímero natural altamente soluble en agua y ampliamente utilizado por su bajo costo. Además, destaca por su capacidad de formar una barrera de difusión al hidratarse y expandirse, lo que puede

contribuir a mejorar la biodisponibilidad de diversos compuestos bioactivos al brindar protección durante el proceso de digestión (McClements et al., 2015).

Por otro lado, el objetivo principal de la encapsulación del suplemento es proteger a los compuestos de interés frente a las modificaciones que pueden sufrir ya sea por actividad enzimática o por cambios en el pH. Uno de los compuestos más afectados por el proceso de digestión en las flores de palma fue la familia de los compuestos fenólicos totales; además, una vez que estos compuestos disminuyeron de manera significativa, se observó una disminución de la actividad antioxidante y de la capacidad para eliminar los radicales libres (Sección 5.3).

Los compuestos fenólicos presentan efectos benéficos, que podrían ejercerse en el mantenimiento e incluso en el tratamiento de algunas enfermedades con procesos de inflamación o con bioactividades como antihipertensivas, anticonvulsivas, antimicrobianas o neuroprotectoras (Flores-Morales et al., 2023). Estos efectos podrían disminuir notablemente debido a los procesos de digestión, debido a la pérdida y oxidación de estos compuestos.

Es por ello que, la optimización de la propuesta del diseño del suplemento alimenticio, se basó en la respuesta del PDIV del contenido de fenoles totales, debido a que, estos presentaron efectos protectores importantes y aunado, al efecto altamente protector cuando son encapsulados comparado con las muestras analizadas en la Sección 5.3 que se distinguen por ser el análisis únicamente de la harina de ambas variedades de flores de palma.

En las Figuras 15A y 15B se aprecian las gráficas de la interacción entre los factores A y B (cantidad de harina de flores y cantidad de extracto acuoso) y el factor de respuesta evaluado, el porcentaje de digestibilidad *in vitro* de los compuestos fenólicos totales en las cápsulas del diseño de suplemento alimenticio.

En la Figura 15A se representa la interacción entre los factores del suplemento a base de *Y. filifera*, al observarse una intersección en el comportamiento de las líneas se puede identificar una interacción de los factores de control sobre el de respuesta, como la finalidad

era incrementar la respuesta en el PDIV de los compuestos fenólicos totales, se puede observar de manera gráfica que los mayores porcentajes se presentaron en 180 mg de cantidad de harina y entre 50 y 60 mg de YFA, donde claramente se observa la intersección de las líneas.

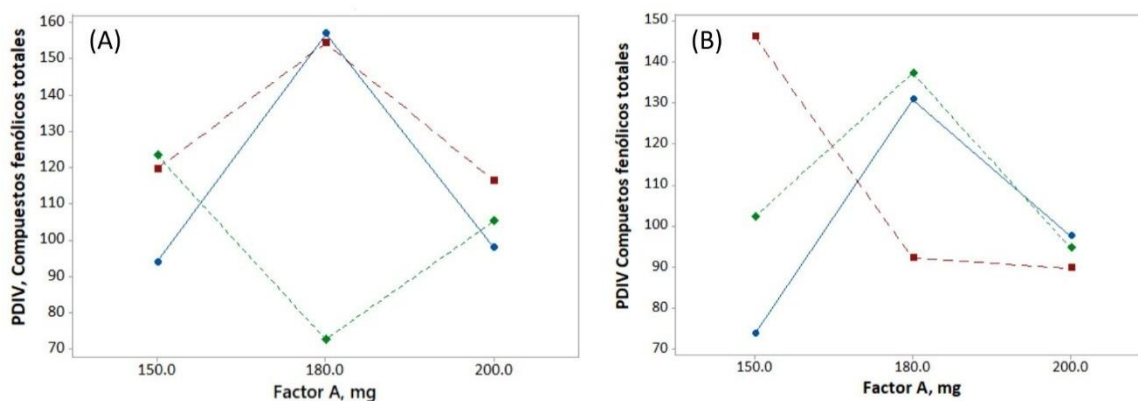


Figura 15. Gráfica de interacción de factores A y B (Cantidad de harina y extracto acuoso) en un suplemento a base de flores de palma. A) *Y. filifera* B) *Y. elephantipes*. Donde: PDIV es porcentaje de digestibilidad *in vitro*; —●— extracto acuoso 50 mg; -■- extracto acuoso 60 mg, ...◆... extracto acuoso 70 mg.

Por otro lado, en la Figura 15B, relativa al comportamiento en la variedad de *Y. elephantipes*, el cruce de las líneas y un comportamiento que no presenta un patrón paralelo, indican la interacción entre la cantidad de harina de YE y el YEA (Factores A y B) sobre la respuesta evaluada (PDIV de compuestos fenólicos totales). El comportamiento de la cantidad de extracto acuoso (YEA) al menor nivel establecido (50 mg) incrementó notablemente cuando se agregaron 150 mg de harina de *Y. elephantipes* a la cápsula, por lo que esta interacción permitió incrementar los valores obtenidos.

Posteriormente, se realizó el análisis estadístico para obtener las condiciones óptimas, las cuales se presentan en la Tabla 32. Además, con el fin de verificar la repetibilidad de los experimentos, se realizaron tres cápsulas bajo las condiciones óptimas identificadas y se analizaron sus porcentajes de digestibilidad *in vitro* (PDIV).

Tabla 32. Condiciones óptimas para la obtención de un suplemento alimenticio de *Y. filifera* y *Y. elephantipes*.

Variedad	Factor A	Factor B	Adición de excipiente	Intervalo de predicción*	Valor experimental*
<i>Y. filifera</i>	180	50	40	145.71-168.05	164.8±0.8
<i>Y. elephantipes</i>	150	60	60	139.12-153.15	149.9±1.1

Donde: Factores A y B son la cantidad de harina de flor y la de extracto acuoso liofilizado, respectivamente.
*Valores dados en porcentaje de digestibilidad *in vitro*.

Los resultados experimentales *in vitro* se encontraron dentro del intervalo de predicción, incrementando de manera importante la disponibilidad de los compuestos fenólicos totales para su absorción intestinal. Si bien se observan valores mayores al 100%, indica que se hizo presente un incremento de estos compuestos posteriores a la digestibilidad *in vitro*, que puede ser atribuido a la interacción con las enzimas digestivas que actúan sobre la liberación de compuestos fenólicos ligados (De Morais et al., 2020).

Este fenómeno está relacionado con la protección que genera la encapsulación, tanto de los dos factores A y B como de la red de protección que forma la goma guar. Esta interacción de factores garantiza en el suplemento que la mayor cantidad de compuestos sea biodisponible para la absorción intestinal y, con ello, se obtengan los beneficios para la salud que puedan provocar.

En la literatura existen pocas propuestas sobre el uso de flores comestibles y de sus extractos en la elaboración de suplementos alimenticios o productos afines. Destaca el trabajo realizado con flores de *Sophora japonica* en un extracto etanólico, con potencial terapéutico para el tratamiento de la hiperuricemia, proponiéndolo como un suplemento dietético con importante actividad (Song et al., 2023). Por otro lado, Jakubczyk y colaboradores (2022) realizaron un análisis de la composición de fibra dietética de diferentes especies de flores comestibles (*Magnolia × soulangeana*, *Sambucus nigra* L., *Syringa vulgaris* L., *Robinia pseudoacacia*, *Forsythia × intermedia*, *Cichorium intybus* L., *Bellis perennis*, *Tussilago farfara* L., *Taraxacum officinale* F.H. Wiggers coll., *Centaurea cyanus* L.,

Calendula officinalis) y los proponen como una buena fuente de este componente con probables funciones prebióticas para los deportistas.

6.3.2 Propuesta de presentación comercial del suplemento alimenticio

Con la finalidad de presentar un producto final con potencial de comercialización, en este trabajo se propone el nombre “*Florélica*” para el suplemento alimenticio, que surge de la combinación de las palabras flor y nutracéutica, aludiendo a los posibles beneficios para la salud asociados a su consumo.

Esta propuesta destaca principalmente por el aprovechamiento de recursos endémicos actualmente invisibilizados, que podrían tener un potencial importante para el mantenimiento de la salud del consumidor.

Asimismo, las flores de palma representan un recurso natural que se puede adaptar a condiciones de estrés hídrico y es característico de zonas áridas y semiáridas, donde la disponibilidad de alimentos puede ser limitada. Estas particularidades le confieren un valor agregado al producto, al promover el aprovechamiento de recursos vegetales locales con potencial bioactivo.

De igual manera, la propuesta se encuentra respaldada por la evidencia científica generada a lo largo del presente trabajo, que incluye resultados que demuestran la ausencia de efectos tóxicos en modelos murinos, así como efectos protectores observados en estudios *in vivo* en *C. elegans*. Estos hallazgos aportan sustento científico al producto, una característica que pocos suplementos alimenticios disponibles actualmente en el mercado logran demostrar.

En este sentido, el desarrollo de un suplemento alimenticio orientado a incrementar la ingesta de fitoquímicos y nutrientes esenciales podría contribuir no solo al ámbito de la innovación en productos alimenticios, sino también al fortalecimiento de estrategias relacionadas con la seguridad alimentaria y el aprovechamiento de recursos endémicos. Para efectos del etiquetado, se puede consultar el Anexo 3 con la propuesta de etiqueta, atendiendo los lineamientos establecidos por la COFEPRIS y la NOM-251, para el etiquetado de los suplementos alimenticios.

Como producto comercial de suplemento alimenticio se identifica como fuente de compuestos antioxidantes (compuestos fenólicos totales), proteína y fibra dietética, además se incluye la recomendación de ingerir dos cápsulas después del desayuno, puesto que además de los compuestos fenólicos se identificaron saponinas como compuestos que pueden interferir con la asimilación lipídica en el organismo. Además, la población objetivo se hace referencia a la población sana y con patologías como obesidad, hipercolesterolemia, estreñimiento y con padecimientos que generen estrés oxidativo, todo esto relacionado con los principales metabolitos encontrados en las flores de palma a lo largo de este estudio.

6.4 Conclusiones

La encapsulación tanto de la harina como del extracto acuoso de las flores de palma mejoró la resistencia a la digestión de los compuestos fenólicos, permitiendo una mejor bioaccesibilidad *in vitro* de estos compuestos.

La adición de un polímero natural (goma guar) incrementa la protección de los compuestos fenólicos frente a las pérdidas durante la digestión.

Los diseños de experimentos permitieron optimizar las respuestas y obtener las mejores condiciones para la formulación del suplemento alimenticio.

Las flores de palma *Y. filifera* y *Y. elephantipes* pueden considerarse una prometedora fuente de compuestos bioactivos para el desarrollo de un suplemento alimenticio encapsulado.

Referencias

De Morais, J. S., Sant'Ana, A. S., Dantas, A. M., Silva, B. S., Lima, M. S., Borges, G. C., & Magnani, M. (2020). Antioxidant activity and bioaccessibility of phenolic compounds in white, red, blue, purple, yellow and orange edible flowers through a simulated intestinal barrier. *Food Research International*, 131, 109046. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109046>

- Flores-Morales, V., Villasana-Ruíz, A. P., Garza-Veloz, I., González-Delgado, S., & Martínez-Fierro, M. L. (2023). Therapeutic Effects of Coumarins with Different Substitution Patterns. *Molecules*, 28(5), 2413. <https://doi.org/10.3390/molecules28052413>
- Jakubczyk, K., Koprowska, K., Gottschling, A., & Janda-Milczarek, K. (2022). Edible Flowers as a Source of Dietary Fibre (Total, Insoluble and Soluble) as a Potential Athlete's Dietary Supplement. *Nutrients*, 14(12), 2470. <https://doi.org/10.3390/nu14122470>
- Knapik, J. J., Trone, D. W., Steelman, R. A., Farina, E. K., & Lieberman, H. R. (2021). Prevalence of and Factors Associated with Dietary Supplement Use in a Stratified, Random Sample of US Military Personnel: The US Military Dietary Supplement Use Study. *Journal of Nutrition*, 151(11), 3495-3506. <https://doi.org/10.1093/jn/nxab239>
- Laffin, L. J., Bruemmer, D., Garcia, M., Brennan, D. M., McErlean, E., Jacoby, D. S., Michos, E. D., Ridker, P. M., Wang, T. Y., Watson, K. E., Hutchinson, H. G., & Nissen, S. E. (2022). Comparative Effects of Low-Dose Rosuvastatin, Placebo, and Dietary Supplements on Lipids and Inflammatory Biomarkers. *Journal of the American College of Cardiology*, 81(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2022.10.013>
- Ley General de Salud, arts. 200–216. (2016). Diario Oficial de la Federación. Disponible en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGS.pdf>
- McClements, D. J., Zou, L., Zhang, R., Salvia-Trujillo, L., Kumosani, T., & Xiao, H. (2015). Enhancing Nutraceutical Performance Using Excipient Foods: Designing Food Structures and Compositions to Increase Bioavailability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(6), 824-847. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12170>
- Protección Contra Riesgos Sanitarios, C. F. P. (2013). Marco jurídico para suplementos alimenticios. gob.mx. <https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/marco-juridico-para-suplementos-alimenticios>
- Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios. (2010). Diario Oficial de la Federación. Disponible en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_CSPS.pdf

- Secretaría de Salud. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-2009, Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios. Diario Oficial de la Federación. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5133449&fecha=01/03/2010
- Song, D., Zhao, H., Wang, L., Wang, F., Fang, L., & Zhao, X. (2023). Ethanol extract of Sophora japonica flower bud, an effective potential dietary supplement for the treatment of hyperuricemia. *Food Bioscience*, 52, 102457. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102457>
- Tan, C. S. S., & Lee, S. W. H. (2020). Warfarin and food, herbal or dietary supplement interactions: A systematic review. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 87(2), 352-374. <https://doi.org/10.1111/bcp.14404>

Anexos

Anexo 1. Carta depósito de material vegetal en herbario HGOM



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

School of Engineering and Basic Sciences

Área Académica de Biología

Department of Biology

Mineral de la Reforma, Hgo., 05 de septiembre del 2025.

Dra. Araceli Castañeda Ovando
Profesora Investigadora, Área académica de Química (UAEH)
Presente.-

Por medio de la presente, con base en su solicitud realizada el día 03/09/2025, hago constar la recepción de las muestras de *Yucca*, correspondiente al proyecto de la doctoral titulado "Evaluación de las propiedades biológicas de dos variedades de flor de palma para su aplicación en el diseño de un suplemento alimenticio", mismo que desarrolla la alumna M. en C. Mariel G. Valencia Cordova bajo su dirección.

Se recibe el material de *Yucca filifera* (Mariel G. Valencia # 2) y *Yucca elephantipes* (Mariel G. Valencia #3) determinado por la Dra. Carmen Julia Figueredo Urbina, para ser herborizado en el herbario HGOM. Se expide esta constancia para los fines que a las interesadas convenga.

Sin más por el momento,
Atentamente,

Dra. Claudia Teresa Hornung Leoni

Profesora Investigadora Titular/ Curadora del herbario HGOM
Lab. Sistemática Vegetal, Área Académica de Biología, ICBI.



Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184
Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 40063, 40064 y 40065
aab_icbi@uaeh.edu.mx, maritzal@uaeh.edu.mx

"Amor, Orden y Progreso"



2025



uaeh.edu.mx

Anexo 2. Carta de aceptación por el comité de ética CICUAL.



**Dirección
de Servicios
Académicos**

**Dirección
de Bioterio**



FORMATO DE SOLICITUD AL CICUAL PARA ACTIVIDADES DE INVESTIGACIÓN			CÓDIGO DE APROBACIÓN CICUAL CICUAL-V-1/01/2024
DATOS GENERALES:			
Instituto y área académica a la que pertenece: Instituto de Ciencias de la Salud, Área Académica de Nutrición, Doctorado en Ciencias de los Alimentos y Salud Humana		Fecha de solicitud: Diciembre 2023	
Nombre del titular del proyecto: Dra. Araceli Castañeda Ovando E mail: ovandoa@uaeh.edu.mx Teléfono: 7712020363		Acepto y conozco los términos y condiciones del CICUAL.  (Firma del titular)	
Título del proyecto: Evaluación de las propiedades biológicas de dos variedades de flor de palma para su aplicación en el diseño de un suplemento alimenticio			
Nombre de los investigadores y estudiantes que participarán.	E - mail:	Teléfono:	Conozco y acepto la información descrita en el protocolo (firma).
M. en C. Mariel Guadalupe Valencia Cordova	va247278@uaeh.edu.mx	7712083018	
Dra. Araceli Castañeda Ovando	ovandoa@uaeh.edu.mx	7712020363	
Dr. Javier Añorve Morga	anorvej@uaeh.edu.mx	7712265939	
Dra. Minarda De la O Arciniega	mina@uaeh.edu.mx	7712207889	
Dra. Deyanira Ojeda Ramírez	dojeda@uaeh.edu.mx	7751360106	

Anexo 3. Etiqueta de suplemento alimenticio

MODO DE USO: Adultos. Tomar dos (2) cápsulas (540 mg) después del desayuno. No exceder la porción diaria recomendada.

Información Nutricional
 Tamaño de la porción: 1 Cápsula (270 mg)
 Porciones por envase: 60

Cantidades	Por porción (270 mg)	Por 100g
CONTENIDO ENERGÉTICO	1.91 kJ	707.41kJ
	0.45 kcal	166.66 kcal
Proteínas	2.7 mg	1 g
Grasas	9.7 mg	3.59 g
Carbohidratos	151.2 mg	56 g
Fibra dietética	62.1 mg	23 g
Compuestos fenólicos	4.23 mg	1.56 g

INGREDIENTES: Derivados de pétalos de flor de palma (extracto acuoso y pétalos liofilizados), goma guar como excipiente. Ingredientes de la cápsula (colágeno bovino).

ESTE PRODUCTO NO ES UN MEDICAMENTO